



SKRIPSI – ME141501

**DESAIN SISTEM PENDINGIN *SLURRY ICE* PADA KAPAL  
PERIKANAN 30 GT**

Suganda

NRP. 4212 100 115

**Dosen Pembimbing**

Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc.

Dr. Beny Cahyono, S.T., M.T.

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**



SKRIPSI – ME141501

**DESAIN SISTEM PENDINGIN *SLURRY ICE* PADA KAPAL  
PERIKANAN 30 GT**

Suganda

NRP. 4212 100 115

**Dosen Pembimbing**

Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc.

Dr. Beny Cahyono, S.T., M.T.

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**



FINAL PROJECT – ME141501

**SLURRY ICE BASED COOLING SYSTEM DESIGN ON 30 GT  
FISHING VESSEL**

Suganda

NRP. 4212 100 115

**Supervisors**

Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc.

Dr. Beny Cahyono, S.T., M.T.

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUT OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2017**

# **LEMBAR PENGESAHAN**

## **DESAIN SISTEM PENDINGIN *SLURRY ICE* PADA KAPAL PERIKANAN 30 GT**

### **SKRIPSI**

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada**

**Bidang Studi Marine Machinery and System (MMS)  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

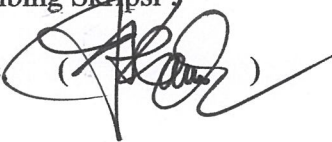
**Oleh :**

**Suganda**

**NRP. 4212 100 115**

**Disetujui oleh Pembimbing Skripsi**

**1. Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc.**



**2. Dr. Beny Cahyono, S.T., M.T.**



**SURABAYA  
JANUARI 2017**

# LEMBAR PENGESAHAN

## DESAIN SISTEM PENDINGIN *SLURRY ICE* PADA KAPAL PERIKANAN 30 GT

### SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi Marine Machinery and System (MMS)  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem  
Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Suganda**

**NRP. 4212 100 115**

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



**Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.**

**NIP. 1977 0802 2008 01 1007**

**SURABAYA  
JANUARI 2017**

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa :

***Pada laporan skripsi yang saya susun ini tidak terdapat tindakan plagiarisme, dan menyatakan dengan sukarela bahwa semua data, konsep, rancangan, bahan tulisan, dan materi yang ada di laporan tersebut adalah milik Laboratorium Marine Machinery and System (MMS) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS yang merupakan hasil studi penelitian dan berhak dipergunakan untuk pelaksanaan kegiatan-kegiatan penelitian lanjut dan pengembangannya.***

Nama : Suganda  
NRP : 4212 100 115  
Judul Skripsi : Desain Sistem Pendingin *Slurry Ice*  
Pada Kapal Perikanan 30 GT  
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan FTK - ITS

Apabila di kemudian hari terbukti terdapat tindakan plagiarism, maka saya akan bertanggung jawab sepenuhnya dan menerima sanksi yang diberikan oleh ITS sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Surabaya, 20 Januari 2017

(Suganda)

# **DESAIN SISTEM PENDINGIN *SLURRY ICE* PADA KAPAL PERIKANAN 30 GT**

Nama Mahasiswa : Suganda  
NRP : 4212 100 115  
Dosen Pembimbing 1 : Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc.  
Dosen Pembimbing 2 : Dr. Beny Cahyono, S.T., M.T.

## **ABSTRAK**

Indonesia adalah negara kepulauan terbesar di dunia sehingga memiliki wilayah perairan laut yang sangat luas. Luas laut Indonesia yang mencapai 5,8 juta km<sup>2</sup> dan panjang garis pantai 95.181 km memiliki potensi yang sangat besar dalam sektor perikanan. Sejalan dengan hal tersebut perlu dilakukan peningkatan terhadap kualitas dari hasil tangkapan ikan. Salah satu cara mengawetkan ikan adalah dengan menggunakan *slurry ice*. *Slurry ice* terbukti lebih efektif mengawetkan produk perikan daripada menggunakan es balok. Sistem pendingin *slurry ice* didesain dan diterapkan pada kapal perikanan 30 GT. Sistem pendingin ini menggunakan sistem kompresi uap sederhana terdiri dari 5 komponen utama yang terdiri dari evaporator, kondensor, kompresor, dan 2 buah pompa.

Dalam mendesain sistem ini ditentukan jenis refrigerant yang digunakan terlebih dahulu yaitu jenis refrigeran R-507a. Kemudian dilakukan perancangan atau pemilihan komponen utamanya. Perancangan hanya dilakukan pada evaporator. Sedangkan untuk komponen utama lainnya seperti kondensor, kompresor, dan pompa dilakukan pemilihan spek yang sesuai dengan daya yang dibutuhkan. Setelah itu dilakukan penggambaran setiap komponen sistem. Lalu selanjutnya mendesain peletakan

komponen sistem pendingin *slurry ice* diatas kapal perikanan 30 GT.

Melalui perhitungan dengan menggunakan persamaan termodinamika sederhana didapat beban pendingin pada sistem ini sebesar 32,06 kW. Kondensor dengan daya 40 kW. Kompresor dengan daya 12 kW. Pompa dengan kapasitas 10 m<sup>3</sup>/h. Dengan mempertimbangkan ruang yang tersisa pada kapal maka sistem *slurry ice* di desain pada bagian main dek kapal untuk efisiensi penggunaan ruang di kapal. Kebutuhan daya dari genset kapal bertambah akibat adanya penambahan komponen sistem *slurry ice* oleh karena itu dilakukan pengantian genset menjadi genset dengan daya 100 kW dan penambahn tangki bahan bakar menjadi 6000 L.

**Kata Kunci : Beban Pendingin, Desain Sistem Pendingin, Kapal Perikanan 30 GT, *Slurry ice***



# **SLURRY ICE BASED COOLING SYSTEM DESIGN ON 30 GT FISHING VESSEL**

Student Name : Suganda  
Reg. Number : 4212 100 115  
Advisor 1 : Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc.  
Advisor 2 : Dr. Beny Cahyono, S.T., M.T.

## **ABSTRACT**

Indonesia is the largest archipelago country in the world that has a sea area that is very spacious. Indonesian sea area is 5.8 million square kilometers and a coastline of 95 181 km has huge potential in the fisheries sector. In line with the need to further improve on the quality of the fish catch. One way to preserve fish is to use a slurry of ice. Slurry ice proved more effective preserving fishery products instead of using ice cubes. Ice slurry cooling system was designed and applied to the fishing vessel 30 GT. The cooling system uses a simple vapor compression system consists of five major components consisting of evaporator, condenser, compressor, and two pumps.

In designing this system determined the type of refrigerant used in advance which type of refrigerant R-507a. Then do the design or selection of its main components. The design is only done on the evaporator. As for the other major components such as condensers, compressors, and pumps election in accordance with the specification of the power needed. After that dialakukan depiction of each system component. Then subsequently designing the laying of ice slurry cooling system components on a fishing vessel 30 GT.

Through calculations using simple thermodynamic equations obtained cooling load on this system amounted to 32.06 kW. Condenser with a power of 40 kW. Compressor with power 12 kW. Pump with capacity 10 m<sup>3</sup> / h. With memepertimbangkan space left on the ship in the ice slurry system design on the main deck of the ship to the efficient use of space on board. The power requirements of the generator

vessel increases due to the addition of ice slurry system components therefore do replacement generator into the generator with a power of 100 kW and penambahn fuel tank to 6,000 L.

**Keyword : Load Cooling, Cooling System Design,  
Fishing Boat 30 GT, Slurry ice**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan karunia-Nya, skripsi yang berjudul **“DESAIN SISTEM PENDINGIN *SLURRY ICE* PADA KAPAL PERIKANAN 30 GT”** ini dapat diselesaikan dengan baik oleh penulis.

Begitu banyak dukungan dan bantuan yang penulis dapatkan selama pengerjaan skripsi ini dari segala aspek kehidupan. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar besar nya kepada kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian skripsi ini:

1. Ayahanda Nelson Aruan dan Ibunda Tiaman Situmorang dimana atas dukungan, kasih sayang, doa, nasehat, dan pengorbanan yang tak terhingga sampai saat ini. Abanganda Timbul Jaya Aruan terimakasih atas dukungan dan nasehat nasehat nya. Begitu juga dengan kakanda Yenny Pramitha Aruan yang terus memberi semangat dan dukungan nya. Dan kepada kedua adik- adik saya Samuel dan Valentino.
2. Bapak Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir 1 dan juga sebagai kepala Lab.MMS yang telah berkenan meluangkan waktu dan berbagi ilmunya untuk membimbing penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Beny Cahyono, S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir 2 yang telah berbagi ilmunya dan waktunya selama pengerjaan Tugas Akhir;

4. Bapak Prof. Dr. Ketut Buda Artana, S.T, M.Sc selaku dosen wali penulis terima kasih banyak atas bimbingan dan nasehat-nasehat nya selama ini.
5. Dr. Eng. Muhammad Badrus Zaman, S.T, M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapaka FTK – ITS.
6. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS atas ilmu dan bimbingan yang telah diberikan kepada penulis.
7. Teman – teman BISMARCK 12 P - 52, HIMASISKAL, dan rekan satu dosen wali atas kebersamaan dan kekompakannya
8. Teman – teman Lab.MMS atas dukungan dan bantuan yang diberikan kepada penulis dalam pengerjaan skripsi ini.
9. Teman – teman satu pergerakan di GMKI Cab Surabaya atas persaudaraan yang menghidupkannya.
10. Pihak -pihak yang tidak disebutkan namanya diatas.

Penulis berharap adanya kritik dan saran yang membangun agar skripsi ini dapat disempurnakan untuk menjadi lebih baik lagi. Tidak lupa juga penulis memohon maaf atas kesalahan yang tidak disengaja dalam pengerjaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat. Terima kasih.

Surabaya, Desember 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK .....</b>	<b>i</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB I.....</b>	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Perumusan Masalah .....	2
1.3    Batasan Masalah .....	2
1.4    Tujuan .....	3
1.5    Manfaat .....	3
<b>BAB II.....</b>	<b>5</b>
<b>TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1    Refrigerasi.....	5
2.1.1    Sistem Kompresi Uap .....	5
2.1.2    Kinerja Mesin Refrigerasi Kompresi Uap.....	8
2.2    Komponen Utama Sistem Refrigerasi.....	9
2.2.1    Kompresor.....	9
2.2.2    Kondensor .....	11
2.2.3    Katup Ekspansi .....	14
2.2.4    Evaporator.....	16
2.3    Refrigeran .....	18

2.4	Jenis-Jenis Es yang Digunakan Dalam Pendinginan Ikan .....	18
2.4.1	<i>Slurry Ice</i> .....	19
2.4.2	Es Balok .....	19
2.4.3	<i>Refrigerated Sea Water</i> .....	20
2.4.4	Es Curai.....	20
2.5	Proses Pembentukan <i>Slurry Ice</i> .....	21
2.6	Perkembangan Teknologi <i>Slurry Ice</i> .....	24
2.7	Salinitas Air Laut .....	26
2.8	Jenis-Jenis Alat Penangkapan Ikan .....	26
<b>BAB III.....</b>		<b>31</b>
<b>METODOLOGI.....</b>		<b>31</b>
3.1	Identifikasi dan perumusan masalah .....	31
3.2	Studi Literatur .....	31
3.3	Pengumpulan Data .....	32
3.4	Menghitung Beban Pendingin.....	32
3.5	Pemilihan Sistem dan Refrigeran.....	32
3.6	Perancangan atau Pemilihan Komponen.....	32
3.7	Mendesain Komponen Utama Sistem.....	32
3.8	Menggambar <i>Keyplan</i> Sistem .....	32
3.9	Mendesain Sistem <i>Slurry Ice</i> Pada Kapal .....	33
3.10	Kesimpulan dan Saran .....	33
3.11	Diagram Alir .....	33
<b>BAB IV .....</b>		<b>35</b>
<b>PEMBAHASAN .....</b>		<b>35</b>

4.1	Data Utama Kapal.....	35
4.2	Perhitungan Beban Pendinginan .....	36
4.3	Pemilihan Sistem dan Refrigeran.....	37
4.4	Perancangan atau Pemilihan Komponen Utama .....	41
4.4.1	Perancangan Evaporator .....	41
4.4.2	Pemilihan Kompresor .....	47
4.4.3	Pemilihan Kondensor .....	48
4.4.4	Pemilihan Pompa .....	50
4.5	Mendesain Komponen Utama Sistem.....	53
4.6	Menggambar Keyplan Sistem.....	54
4.7	Mendesain Sistem <i>Slurry Ice</i> Pada Kapal .....	55
<b>BAB V</b>	.....	<b>57</b>
<b>KESIMPULAN</b>	.....	<b>57</b>
5.1	Kesimpulan .....	57
5.2	Saran .....	58
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>59</b>
<b>LAMPIRAN</b>	.....	<b>61</b>

*“Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gambaran Skematis Siklus Refrigerasi Kompresi Uap.....	6
Gambar 2.2	Gambaran Skematis Siklus Refrigerasi Termasuk Perubahan Tekanannya .....	7
Gambar 2.3	Diagram Tekanan Terhadap Entalpi .....	8
Gambar 2.4	Konstruksi Kompresor Torak.....	10
Gambar 2.5	Kompresor Rotary Dengan Dua Blade.....	10
Gambar 2.6	Kondensor Pipa Ganda.....	12
Gambar 2.7	Kondensor Selubung Dan Tabung .....	13
Gambar 2.8	Katup Ekspansi Manual .....	15
Gambar 2.9	Katup Ekspansi Termostatik .....	16
Gambar 2.10	Grafik Hubungan Freezing Point .....	23
Gambar 2.11	Perbandingan Waktu Pendinginan Ikan Haddock Menggunakan Pumpable Ice Dan Flake Ice .....	24
Gambar 2.12	Mesin Slurry Ice Crystalline Ice System.....	25
Gambar 2.13	Mesin Slurry Ice Ground Ice System .....	25
Gambar 2.14	Pukat Ikan .....	27
Gambar 2.15	Pukat Cincin .....	27
Gambar 2.16	Jaring Insang .....	27
Gambar 3.1	Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	34
Gambar 4.1	Diagram Pendinginan Air Laut .....	36
Gambar 4.2	Diagram Tekanan Terhadap Entalpi R-507a.....	39

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Refrigeran Temperature Operasi Rendah .....	38
Tabel 4.2 Karakteristik Refrigerant R507a .....	38
Tabel 4.3 Spesifikasi Tiap Komponen.....	40
Tabel 4.4 Spesifikasi Utam Kompresor 4VES-10Y .....	48
Tabel 4.5 Spesifikasi Kompresor 4VES-10Y .....	48
Tabel 4.5 Sifat Fluida Pada Kondisi Operasi Kondensor ....	49

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia adalah negara kepulauan terbesar di dunia sehingga memiliki wilayah perairan laut yang sangat luas. Luas laut Indonesia yang mencapai 5,8 juta km<sup>2</sup> dan panjang garis pantai 95.181 km memiliki potensi yang sangat besar dalam sektor perikanan. Pada tahun 2016 Pemerintah Indonesia melalui Kementerian Kelautan dan Perikanan Indonesia menetapkan target produksi hasil tangkapan ikan mencapai 2,4 % menjadi 6,45 juta ton. Sejalan dengan hal tersebut perlu dilakukan peningkatan terhadap kualitas dari hasil tangkapan ikan.

Untuk meningkatkan mutu dan kualitas hasil tangkapan ikan, maka dilakukanlah pengolahan dan pengawetan ikan. Pengawetan dan pengolahan ikan bertujuan untuk menghambat atau menghentikan kegiatan zat-zat dan mikroorganisme yang dapat menimbulkan pembusukan (kemunduran mutu) dan kerusakan.

Pengawetan pada kapal ikan tradisional pada umumnya menggunakan es balok. Sistem ini dianggap tidak memberikan manfaat maksimal dikarenakan es batu bersifat keras dan permukaan yang kasar menyebabkan gesekan pada ikan yang dapat menyebabkan kerusakan pada ikan yang dapat menurunkan harga ikan saat akan dipasarkan. Kemudian luas penampang pendinginan nya relatif lebih kecil.

Saat ini terdapat alternatif pengganti sistem tradisional yang menggunakan es balok dan jauh lebih efektif yaitu dengan menggunakan slurry ice. Slurry ice menjadi pilihan populer terbaik karena performa slurry ice lebih baik dibanding es balok untuk menjaga kualitas ikan. Ice slurry sebagai pendinginan ikan dapat menjaga agar tidak ada udara antara ikan dan es, sehingga pendinginan ikan menjadi cepat karena luas permukaan bidang kontak lebih besar dan pertumbuhan bakteri menjadi lebih lambat yang membuat

memperpanjang kesegaran ikan. Fungsi lain dari slurry ice terhadap pendinginan ikan adalah waktu pendinginan ikan tiga kali lebih cepat dibanding es balok untuk menurunkan sampai temperatur 20C. Air laut yang merupakan bahan dasar ice slurry akan semakin baik untuk menjaga keawetan ikan karena mengandung unsur klorin (Cl) yang dapat membunuh bakteri penyebab pembusukan.

Sistem pendingin menggunakan slurry ice pada negara-negara maju biasanya dipasang pada kapal perikanan berukuran besar. Namun di Indonesia pada umumnya nelayan masih menggunakan kapal perikanan berukuran 30 GT. Oleh karena itu dalam tugas akhir ini berupaya merancang desain sistem pada kapal perikanan dengan kapasitas 30 GT.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan uraian diatas, dapat diambil perumusan masalah dalam penulisan Tugas Akhir ini yaitu apakah sistem pendingin menggunakan ice slurry dapat didesain pada kapal perikanan 30 GT ?

## **1.3 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Penghitungan beban pendingin hanya dianalisis secara teoritik berdasarkan hukum kesetimbangan energi.
2. Perancangan atau pemilihan komponen dihitung sesuai dengan kebutuhan dayanya.
3. Perancangan dan pemilihan komponen hanya dilakukan pada komponen utama seperti evaporator, kondensor, kompresor, dan pompa.
4. Digunakan beberapa asumsi dalam penyederhaan masalah seperti perhitungan beban pendingin dalam kondisi tunak

#### **1.4 Tujuan**

Penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk :

1. Melakukan studi terhadap teknologi slurry ice yang telah dikembangkan menjadi sistem pendingin pada hasil tangkapan ikan.
2. Mengetahui cara kerja sistem pendingin *slurry ice*.
3. Mendesain sistem pendingin slurry ice pada kapal perikanan 30 GT.

#### **1.5 Manfaat**

Manfaat dari penulisan Tugas Akhir ini adalah memberikan informasi tentang penggunaan slurry ice pada kapal perikanan dan penerapan desain sistem pendingin *slurry ice* pada kapal perikanan 30 GT.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Refrigerasi**

Refrigerasi adalah produksi atau pengusahaan dan pemeliharaan tingkat suhu dari suatu bahan atau ruangan pada tingkat yang lebih rendah dari pada suhu lingkungan atau atmosfer sekitarnya dengan cara penarikan atau penyerapan panas dari bahan atau ruangan tersebut. Berbagai jenis sistem refrigerasi yang bekerja berdasarkan berbagai proses dan siklus dapat ditemui dalam praktek. Secara umum ada dua siklus dari sistem refrigerasi yaitu sistem refrigerasi siklus tertutup dan sistem refrigerasi siklus terbuka. Namun demikian sistem refrigerasi siklus tertutup dapat dikelompokkan berdasarkan jenis siklusnya diantaranya:

1. Sistem refrigerasi siklus termodinamika
2. Sistem refrigerasi siklus termo-elektrik
3. Sistem refrigerasi siklus termo-magnetik

Sedangkan berdasarkan input energi dan proses yang terjadi sistem refrigerasi dapat dikelompokkan menjadi :

1. Sistem refrigerasi kompresi uap
2. Sistem refrigerasi absorpsi
3. Sistem refrigerasi ekspansi gas

Pada penelitian tugas akhir ini sistem refrigerasi yang dipakai menggunakan sistem refrigerasi kompresi uap, sehingga pembahasan lebih lanjut hanya pada sistem refrigerasi kompresi uap.

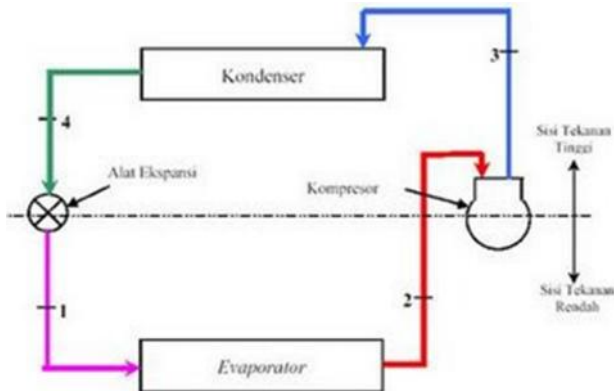
##### **2.1.1 Sistem Kompresi Uap**

Siklus refrigerasi kompresi mengambil keuntungan dari kenyataan bahwa fluida yang bertekanan tinggi pada suhu tertentu cenderung menjadi lebih dingin jika dibiarkan mengembang. Jika perubahan tekanan cukup tinggi, maka gas yang ditekan akan menjadi lebih panas daripada sumber dingin diluar (contoh udara diluar) dan gas yang mengembang akan menjadi lebih dingin daripada suhu dingin yang

dikehendaki. Dalam kasus ini, fluida digunakan untuk mendinginkan lingkungan bersuhu rendah dan membuang panas ke lingkungan yang bersuhu tinggi.

Siklus refrigerasi kompresi uap memiliki dua keuntungan. Pertama, sejumlah besar energi panas diperlukan untuk merubah cairan menjadi uap, dan oleh karena itu banyak panas yang dapat dibuang dari ruang yang disejukkan. Kedua, sifat-sifat isothermal penguapan membolehkan pengambilan panas tanpa menaikkan suhu fluida kerja ke suhu berapapun didinginkan. Hal ini berarti bahwa laju perpindahan panas menjadi tinggi, sebab semakin dekat suhu fluida kerja mendekati suhu sekitarnya akan semakin rendah laju perpindahan panasnya.

Siklus refrigerasi ditunjukkan dalam Gambar 2.1 dan 2.2 dan dapat dibagi menjadi tahapan-tahapan berikut:

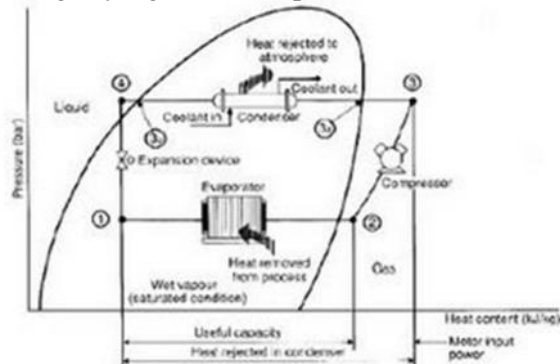


Gambar 2.1. Gambaran Skematis Siklus Refrigerasi Kompresi Uap (*Biro Efisiensi Energi, 2004*)

- 1 – 2. Cairan refrigeran dalam evaporator menyerap panas dari sekitarnya, biasanya udara, air atau cairan proses lain. Selama proses ini cairan merubah bentuknya dari cair menjadi gas, dan pada keluaran

evaporator gas ini diberi pemanasan berlebih/ superheated gas.

- 2 – 3. Uap yang diberi panas berlebih masuk menuju kompresor dimana tekanannya dinaikkan. Suhu juga akan meningkat, sebab bagian energi yang menuju proses kompresi dipindahkan ke refrigeran.
- 3 – 4. Superheated gas bertekanan tinggi lewat dari kompresor menuju kondenser. Bagian awal proses refrigerasi (3-3a) menurunkan panas superheated gas sebelum gas ini dikembalikan menjadi bentuk cairan (3a-3b). Refrigerasi untuk proses ini biasanya dicapai dengan menggunakan udara atau air. Penurunan suhu lebih lanjut terjadi pada pekerjaan pipa dan penerima cairan (3b - 4), sehingga cairan refrigeran didinginkan ke tingkat lebih rendah ketika cairan ini menuju alat ekspansi.
- 4 - 1 Cairan yang sudah didinginkan dan bertekanan tinggi melintas melalui peralatan ekspansi, yang mana akan mengurangi tekanan dan mengendalikan aliran menuju kondenser harus mampu membuang panas gabungan yang masuk evaporator dan kondenser.



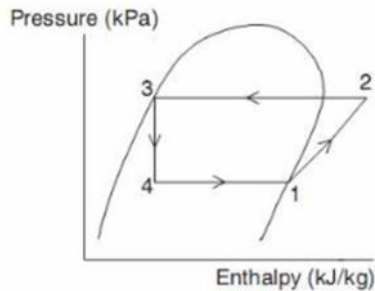
Gambar 2.2. Gambaran Skematis Siklus Refrigerasi  
Termasuk Perubahan Tekanannya  
(Biro Efisiensi Energi, 2004)

### 2.1.2 Kinerja Mesin Refrigerasi Kompresi Uap

Parameter yang menentukan kinerja dari mesin refrigerasi kompresi uap yaitu kapasitas refrigerasi, kerja kompresi, dan *Coefficient of Performance*. Persamaan dasar yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \sum \dot{m} \left( h + \frac{V^2}{2} + gz \right)_i - \sum \dot{m} \left( h + \frac{V^2}{2} + gz \right)_e \quad (2.1)$$

Dengan mengabaikan energi kinetik dan energi potensial parameter kerja tersebut dapat dihitung sebagai fungsi entalpi pada setiap tingkat keadaan seperti pada gambar 2.3



Gambar 2.3. Diagram Tekanan Terhadap Entalpi  
(<https://teachintegration.wordpress.com>)

#### 1. Kerja Kompresi

Kerja kompresi ditunjukkan oleh proses 1-2. Dengan menggunakan persamaan kesetimbangan energi (2.1), maka kerja kompresi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$W_{\text{comp}} = (h_2 - h_1) \quad (2.2)$$

#### 2. Kapasitas Refrigerasi

Kapasitas refrigerasi menunjukkan jumlah panas yang diambil oleh refrigeran dari lingkungan. Proses ini terjadi di evaporator dan ditunjukkan oleh proses 4-1, dan dapat dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$Q_E = m (h_1 - h_4) \quad (2.3)$$

### 3. *Coeffisien of Performance*

Nilai COP menunjukkan efisiensi dari suatu mesin refrigerasi. Nilai ini didapat dari perbandingan antara kapasitas refrigerasi dengan kerja kompresi, dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{COP} = \frac{Q_E}{W_c} \quad (2.4)$$

## 2.2 **Komponen Utama Sistem Refrigerasi**

Komponen pokok adalah komponen yang harus ada atau dipasang dalam mesin refrigerasi. Komponen pokok tersebut meliputi : Kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator. Masing-masing komponen dalam sistem kompresi uap mempunyai sifat-sifat yang tersendiri.

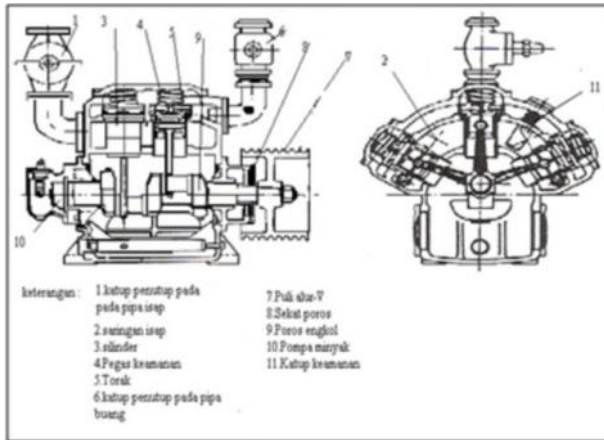
### 2.2.1 **Kompresor**

Kompresor merupakan jantung dari suatu sistem refrigerasi mekanik, berfungsi untuk menggerakkan sistem refrigerasi agar dapat mempertahankan suatu perbedaan tekanan antara sisi tekanan rendah dan sisi tekanan tinggi dari sistem . Kompresor refrigerasi yang paling umum adalah kompresor torak (*reciprocating compressor*), sekrup (*screw*), sentrifugal, sudu .

Berdasarkan cara kerjanya kompresor dapat dibedakan menjadi dua, yaitu kompresor torak dan kompresor *rotary*.

#### 1) Kompresor torak

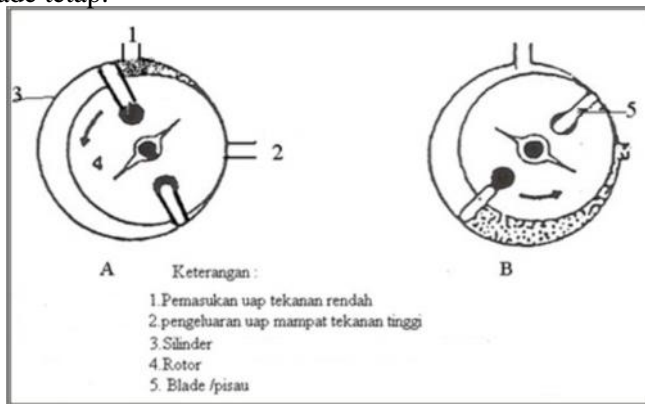
Kompresor torak yaitu kompresor yang kerjanya dipengaruhi oleh gerakan torak yang bergerak menghasilkan satu kali langkah hisap dan satu kali langkah tekan yang berlainan waktu. Kompresor torak lebih banyak digunakan pada unit mesin pendingin berkapasitas besar maupun kecil seperti lemari es, *cold storage*, *coll room*.



Gambar 2.4. Konstruksi Kompresor Torak  
(<http://www.bppp-tegal.com/>)

## 2) Kompresor *rotary*

Kompresor *rotary* yaitu kompresor yang kerjanya berdasarkan putaran *roller* pada rumahnya, prinsip kerjanya adalah satu putaran porosnya akan terjadi langkah hisap dan langkah tekan yang bersamaan waktunya, kompresor *rotary* terdiri dua macam yaitu kompresor *rotary* dengan pisau / blade tetap.



Gambar 2.5. Kompresor *Rotary* Dengan Dua Blade  
(<http://www.bppp-tegal.com/>)

Sedangkan berdasarkan konstruksinya kompresor terdiri dari dua jenis yaitu :

1) Kompresor tertutup

Kompresor jenis ini banyak digunakan pada unit mesin refrigerasi yang kecil. Kompresor tertutup dibedakan dua macam yaitu kompresor hermetik dan kompresor semi hermetik

a) Kompresor hermetik

Kompresor yang di bangun dengan tenaga penggeraknya (motor listrik) dalam satu tempat tertutup. Jenis kompresor hermetik yang sering digunakan adalah kompresor hermetik torak pada lemari es dan kompresor *hermetik rotary* pada air conditioner.

b) Kompresor semi hermetik

Kompresor yang bagian rumah engkolnya dibangun menjadi satu dengan motor listriknya sebagai tenaga penggerak. Pada kompresor ini tidak diperlukan penyekat poros sehingga dapat dicegah terjadinya kebocoran gas refrigeran.

2) Kompresor terbuka

Kompresor yang dibangun terpisah dengan motor penggeraknya. Jenis ini banyak digunakan pada unit refrigerasi yang berkapasitas besar seperti pabrik es, *cold storage*. Pada kompresor terbuka salah satu porosnya keluar dari kompresor untuk menerima putaran dari tenaga penggeraknya.

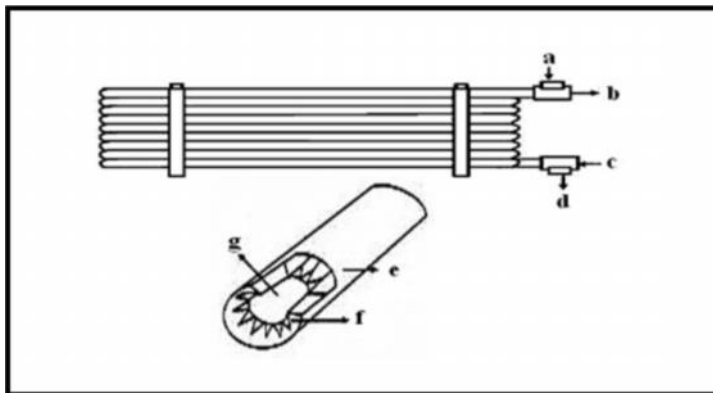
### 2.2.2 Kondensor

Pengembun atau kondensor adalah bagian dari refrigerasi yang menerima uap refrigeran tekanan tinggi yang panas dari kompresor dan mengenyahkan panas pengembunan itu dengan cara mendinginkan uap refrigerant tekanan tinggi yang panas ke titik embunnya dengan cara mengenyahkan panas sensibelnya. Pengenyahan selanjutnya panas laten menyebabkan uap itu mengembun menjadi cairan.

Jenis- jenis kondensor yang kebanyakan dipakai adalah sebagai berikut:

1) Kondensor pipa ganda (*Tube and Tube*)

Jenis kondensor ini terdiri dari susunan dua pipa koaksial, dimana refrigeran mengalir melalui saluran yang berbentuk antara pipa dalam dan pipa luar, dari atas ke bawah. Sedangkan air pendingin mengalir di dalam pipa dalam dengan arah yang berlawanan dengan arah aliran refrigeran.



Gambar 2.6. Kondensor Pipa Ganda  
(<http://www.bppp-tegal.com/>)

Keterangan :

- a. Uap refrigeran masuk
- b. Air pendingin keluar
- c. Air pendingin masuk
- d. Cairan refrigeran keluar
- e. Tabung luar
- f. Sirip bentuk bunga
- g. Tabung dalam

2) Kondensor tabung dan koil ( *Shell and Coil* )

Kondensor tabung dan koil adalah kondensor yang terdapat koil pipa air pendingin di dalam tabung yang di pasang pada posisi vertikal. Tipe kondensor ini air mengalir



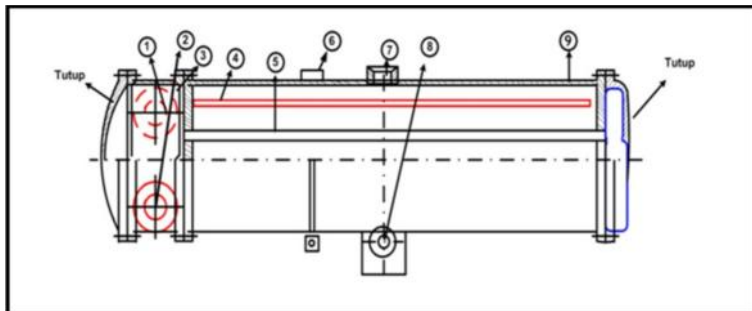
dalam koil, endapan dan kerak yang terbantuk dalam pipa harus di bersihkan dengan bahan kimia atau detergen.

### 3) Kondensor pendingin udara

Kondensor pendingin udara adalah jenis kondensor yang terdiri dari koil pipa pendingin yang bersirip pelat (tembaga atau aluminium). Udara mengalir dengan arah tegak lurus pada bidang pendingin, gas refrigeran yang bertemperatur tinggi masuk ke bagian atas dari koil dan secara berangsur mencair dalam alirannya ke bawah.

### 4) Kondensor tabung dan pipa horizontal (*Shell and Tube*)

Kondensor tabung dan pipa horizontal adalah kondensor tabung yang di dalamnya banyak terdapat pipa – pipa pendingin, dimana air pendingin mengalir dalam pipa – pipa tersebut. Ujung dan pangkal pipa terikat pada pelat pipa, sedangkan diantara pelat pipa dan tutup tabung dipasang sekat untuk membagi aliran air yang melewati pipa – pipa.



Gambar 2.7. Kondensor Selubung Dan Tabung  
(<http://www.bppp-tegal.com/>)

Keterangan :

- 1.Saluran air pendingin keluar
- 2.Saluran air pendingin masuk
- 3.Pelat pipa
- 4.Pelat distribusi

5. Pipa bersirip
6. Pengukur muka cairan
7. Saluran masuk refrigerant
8. Tabung keluar refrigerant
9. Tabung

Kondensor yang sering digunakan pada kapal-kapal ikan adalah kondensor jenis *shell and tube*. Kondensor ini terbuat dari sebuah silinder besar yang di dalamnya terdapat susunan pipa-pipa untuk mengalirkan air pendingin.

### **2.2.3 Katup Ekspansi**

Katup ekspansi dipergunakan untuk mengekspansikan secara adiabatik cairan refrigeran yang bertekanan dan bertemperatur tinggi sampai mencapai tingkat keadaan tekanan dan temperatur rendah. Pada waktu katup ekspansi membuka saluran sesuai dengan jumlah refrigeran yang diperlukan oleh evaporator, sehingga refrigeran menguap sempurna pada waktu keluar dari evaporator.

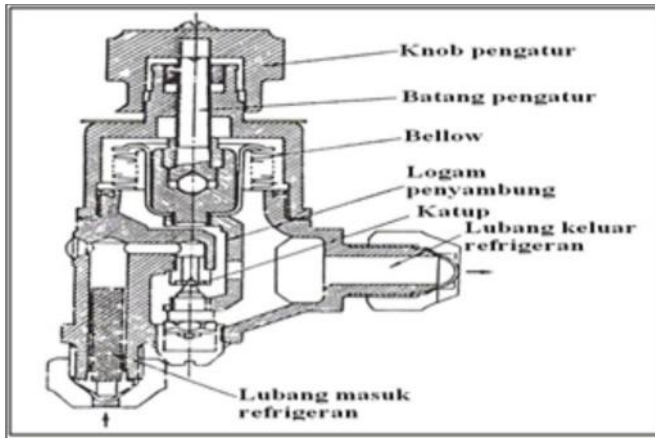
Apabila beban pendingin turun, atau apabila katup ekspansi membuka lebih lebar, maka refrigeran didalam evaporator tidak menguap sempurna, sehingga refrigeran yang terhisap masuk kedalam kompresor mengandung cairan. Jika jumlah refrigeran yang mencair berjumlah lebih banyak atau apabila kompresor mengisap cairan, maka akan terjadi pukulan cairan (*Liquid hammer*) yang dapat merusak kompresor.

Katup ekspansi berdasarkan cara kerjanya terdiri dari :

- 1) Katup ekspansi manual / tangan

Berfungsi untuk mengontrol arus refrigerant supaya tepat mengimbangi beban refrigrasi. Alat ini hanya digunakan kalau beban refrigrasi konstan yang menunjukkan bahwa perubahan kecil dan berkembang lambat. Sering dipasang

paralel dengan alat kontrol lain sehingga system dapat tetap dioperasikan jika katup yang lain dalam keadaan rusak.



Gambar 2.8. Katup Ekspansi Manual

(<http://www.bppp-tegal.com/>)

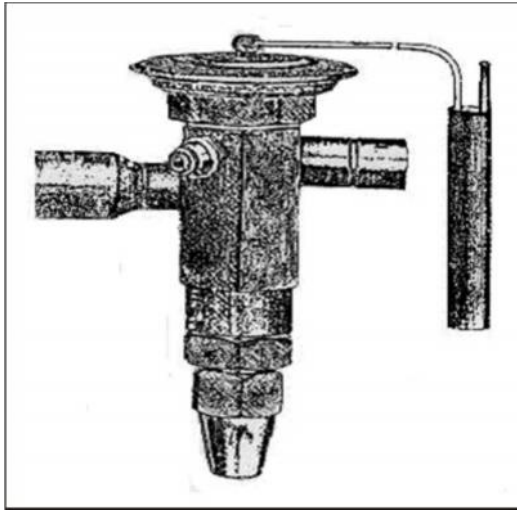
## 2) Katup ekspansi *automatic*

Katup yang cara kerjanya berdasarkan tekanan dalam evaporator. Cara kerja katup ini adalah pada waktu mesin pendingin tidak bekerja, katup ekspansi tertutup karena tekanan dalam evaporator lebih besar daripada tekanan pegas katup yang telah diatur. Setelah mesin bekerja, uap didalam evaporator akan terhisap oleh kompresor sehingga tekanan didalam evaporator berkurang. Setelah tekanan didalam evaporator lebih rendah daripada tekanan pegas maka pegas akan mengembangkan diafragma dan mendorong katup sehingga membuka.

## 3) Katup ekspansi thermostatis (*thermostatic expansion valve*)

Katup ini bertugas mengontrol arus refrigeran yang dioperasikan secara mengindera oleh suhu dan tekanan di dalam evaporator dan mensuplai refrigeran sesuai kebutuhan

evaporator. Operasi katup ini dikontrol oleh suhu bulb kontrol dan oleh tekanan didalam evaporator .



Gambar 2.9. Katup Ekspansi Thermostatik  
(<http://www.bppp-tegal.com/>)

#### 2.2.4 Evaporator

Evaporator berguna untuk menguapkan cairan refrigeran, penguapan refrigeran akan menyerap panas dari bahan / ruangan, sehingga ruangan disekitar menjadi dingin. Penempatan evaporator dibedakan menjadi empat macam sesuai dengan keadaan refrigeran didalamnya, yaitu :

- 1) Evaporator kering (*dry expansion evaporator*)
- 2) Evaporator setengah basah
- 3) Evaporator basah (*flooded evaporator*), dan
- 4) Sistem pompa cairan

Pada evaporator kering, cairan refrigeran yang masuk kedalam evaporator sudah dalam keadaan campuran cair dan uap, sehingga keluar dari evaporator dalam keadaan uap kering, karena sebagian besar dari evaporator terisi uap maka

penyerapan kalor tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan evaporator basah. Namun, evaporator kering tidak memerlukan banyak refrigeran, disamping itu jumlah minyak pelumas yang tertinggal didalam evaporator sangat kecil. Pada evaporator jenis setengah basah, kondisi refrigeran diantara evaporator jenis ekspansi kering dan evaporator jenis basah.

Pada evaporator basah terdapat sebuah akumulator untuk menampung refrigeran cair dan gas, dari akumulator tersebut bahan pendingin cair mengalir ke evaporator dan menguap didalamnya. Sisa refrigeran yang tidak sempat menguap di evaporator kembali kedalam akumulator, didalam akumulator refrigeran cair berada dibawah tabung sedangkan yang berupa gas berada diatas tabung.

Berdasarkan kontruksinya evaporator dibedakan menjadi tiga yaitu:

1) Evaporator permukaan datar (*evaporator plate*)

Evaporator ini merupakan sebuah plat yang diberi saluran bahan pendingin atau pipa yang dililitkan pada plat. Evaporator jenis ini banyak digunakan pada *freezer* atau *contact freezer* dan proses pemindahan panas menggunakan sistem konduksi.

2) Evaporator bare

Jenis ini merupakan pipa yang dikonstruksi melingkar atau spiral yang diberi rangka penguat dan dipasang pada dinding ruang pendingin. Jenis banyak digunakan pada *cold storage*, palkah-palkah ikan dikapal, dan rak air garam.

3) Evaporator sirip

Evaporator ini merupakan pipa yang diberi plat logam tipis atau sirip-sirip yang berfungsi untuk memperluas permukaan evaporator sehingga dapat menyerap panas lebih banyak. Sirip-sirip ini harus menempel erat pada evaporator. Proses pemindahan panas dilakukan dengan sistem secara tiupan dan banyak digunakan pada AC (*air conditioner*), pendingin ruangan (*cool room*.)

### **2.3 Refrigeran**

Refrigeran merupakan bahan pendingin atau fluida yang digunakan untuk menyerap panas melalui perubahan fase dari cair ke gas (evaporasi) dan membuang panas melalui perubahan fase dari gas ke cair (kondensasi), sehingga refrigeran dapat dikatakan sebagai pemindah panas dalam sistem pendingin. Adapun pengertian lainnya adalah Refrigerasi atau pendinginan merupakan proses pengambilan atau pengeluaran kalor dari suatu materi atau ruangan dan mempertahankan keadaannya sedemikian rupa sehingga temperaturnya lebih rendah dari pada lingkungan sekitarnya. Persyaratan yang harus dimiliki oleh suatu refrigeran antara lain adalah :

- Titik penguapan yang rendah
- Kestabilan tekanan
- Panas laten yang tinggi
- Mudah mengembun pada suhu ruang
- Mudah bercampur dengan oli pelumas
- Tidak korosif
- Tidak mudah terbakar
- Tidak beracun

### **2.4 Jenis-Jenis Es yang Digunakan Dalam Pendinginan Ikan**

Pada dasarnya proses pendinginan ikan pada kapal nelayan menggunakan bahan baku berupa es baik itu berupa es balok ataupun es dengan struktur yang lebih kecil lagi. Pada subbab dibawah ini dijelaskan beberapa cara mendinginkan ikan pada umumnya.

### 2.4.1 *Slurry Ice*

*Slurry ice* terdiri dari larutan air yang mempunyai kristal es. *Slurry ice* juga didefinisikan sebagai *Fine-crystalline Ice Slurry* adalah *slurry ice* dengan partikel es yang memiliki ukuran diameter rata-rata sama dengan atau kurang dari 1 mm.

Secara umum *slurry ice* mempunyai sifat dan karakteristik fisik sebagai berikut :

- Larutan dan padatan dengan temperatur sampai  $-15^{\circ}\text{C}$ .
- Dapat dibuat dari larutan brine yang dipakai di bawah nilai titik bekunya dengan beban pendinginan pada temperatur antara  $-2^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $-50^{\circ}\text{C}$ .
- *Slurry ice* akan menjadi larutan yang mempunyai sifat dan perilaku yang sangat berbeda dengan *brine* yang melarutkannya.
- Merupakan fluida 2 fasa *non-Newtonian* pada fraksi es yang tinggi.
- Memerlukan perhitungan pemipaan, pompa, *heat exchanger*, dan *storage tank* yang berbeda.

### 2.4.2 **Es Balok**

Es balok merupakan es yang berbentuk balok berukuran 12-60 kg/balok. Sebelum dipakai es balok harus dipecahkan terlebih dahulu untuk memperkecil ukuran. Es balok merupakan jenis es yang paling banyak atau umum untuk digunakan dalam pendinginan ikan karena harganya murah dan mudah dalam pengangkutannya. Es balok lebih mudah dalam pengangkutannya karena lebih sedikit meleleh. Akan tetapi, memerlukan sarana penumbuk es atau penghancur secara mekanis (*ice crusher*) sehingga es yang keluar dari pabrik sudah siap pakai dengan ukuran 1 cm x 1 cm. Keuntungan lain dari penggunaan es balok ialah es balok lebih lama mencair dan menghemat penggunaan tempat pada

palka, es balok ditransportasikan dan disimpan dalam bentuk balok dan dihancurkan bila akan digunakan.

### **2.4.3 Refrigerated Sea Water**

Media pendingin air yang digunakan dengan alat mekanis disebut juga dengan *refrigerated sea water* (RSW). Alat mekanik yang digunakan untuk mendinginkan air laut tersebut adalah refrigerator. Evaporator yang merupakan bagian dari refrigerator disimpan pada salah satu dinding tangki. Evaporator ini berfungsi untuk mendinginkan air laut dengan menyerap panas yang dikeluarkan oleh ikan maupun air laut.

Air dingin disirkulasi ke dalam tangki penyimpanan dan selanjutnya dialirkan kembali melewati refrigerator dengan pompa. Air yang telah melewati refrigerator akan menjadi dingin dan selanjutnya disirkulasi kembali ke tangki penyimpanan.

Penggunaan ikan dengan menggunakan sistem RSW banyak di gunakan oleh kapal penangkapan ikan yang berukuran besar. Pada umumnya, kapal-kapal besar tersebut dalam melakukan penangkapan ikan sampai berbulan-bulan lamanya sehingga media pendingin yang digunakan harus mampu mempertahankan hasil tangkapannya sampai kapal tersebut berlabuh.

### **2.4.4 Es Curai**

Es curai merupakan es yang berbentuk butiran-butiran yang sangat halus dengan diameter 2 mm dan tekstur lembek, umumnya sedikit berair. Mesin yang digunakan berukuran kecil dan produksinya sedikit, hanya untuk ikan di sekitar pabrik. Es ini lebih cepat meleleh sehingga proses pendinginan lebih cepat terjadi. Tetapi, di lain pihak akan banyak jumlah es yang hilang sehingga lebih banyak jumlah es yang diperlukan. Hal sama juga terjadi dengan es yang berukuran kecil. Ukuran es yang semakin kecil menyebabkan ikan akan lebih cepat dalam proses pendinginannya.



Es curai (*small ice* atau *fragmentary ice*) adalah istilah yang diberikan pada banyak es yang dibuat dalam bentuk kepingan kecil, yang dalam perdagangan dikenal dengan nama es keeping (*flake ice*).

## 2.5 Proses Pembentukan *Slurry Ice*

Secara umum pembentukan ice slurry terdiri dari tiga tahap, yaitu *Supersaturation*, *Nucleation*, dan *Grow* (pertumbuhan). Selain itu terdapat proses *attrition*, *agglomeration* dan *ripening* yang terjadi pada *slurry ice* generator tertentu

### 1. *Supersaturation*

*Supersaturation* hanya terjadi apabila gaya pembawa terpenuhi, oleh karena itu supersaturation dari *slurry ice* membutuhkan larutan. Hal ini membuat larutan tidak dalam kestabilan dan terjadi perbedaan potensial kimia ( $\mu$ ) antara fase larutan dan kristal padat. Dimana liquid adalah larutan awal antara air dan pelarut, sedangkan solid adalah fraksi es.

$$\mu = \mu_{\text{liquid}}(T) - \mu_{\text{solid}}(T) \quad (2.5)$$

Pada kasus pembangkitan ice slurry, larutan supersaturated dengan air terjadi. Setelah awal *nucleation ice slurry* terbentuk, yang mengurangi supersaturasi pada larutan. *Ice crystal* dapat terbentuk sampai perbedaan potensial kimia ( $\mu$ ) dikurangi pada kondisi saturasi. Perbedaan dalam potensial kimia terjadi karena temperatur atau tekanan pembawa gaya. Supersaturasi dapat terjadi oleh *supercooling* dari larutan saat setimbang temperatur atau dengan mendapatkan kesetimbangan temperatur melalui perubahan tekanan. Untuk *slurry ice* artinya larutan harus membawa ke *triple point*, dimana air secara parsial membeku untuk membuat perbedaan potensial kimia yang dibutuhkan untuk kristalisasi. Pendinginan dan perubahan tekanan adalah dua metode yang diaplikasikan dalam *slurry ice generator*. Melewati kurva pembekuan dari larutan, temperatur atau

tekanan dapat diubah menjadi perbedaan konsentrasi. Laju dari tahap kristalisasi, *nucleation dan growth* (pertumbuhan) ditentukan oleh level dari supersaturasi larutan.

*Supercooling* adalah suatu efek yang sering digunakan untuk teknik memproduksi *slurry ice* secara baik. Sesuai dengan Hukum Raoult apabila suatu liquid dicampur dengan larutan misalnya *methanol, ethylene glycol, propylene glycol, sodium chloride, magnesium chloride, potassium chloride*, dan lain-lain, hal ini menjadi larutan yang mempunyai tekanan campuran akan berada diantara tekanan parsial uap kedua komponen yang terikat antara campuran *liquid* dan membuat titik pendinginan larutan menjadi ikut turun serta mempercepat *nucleation*.

## 2. *Nucleation*

Dalam larutan supersaturasi, awal nucleasi dapat terbentuk ketika molekul bersama mendapatkan bentuk kelompok stabil. Hal ini dapat terjadi salah satu antara *homogeneously* atau *heterogeneously*. Dalam *homogeneous nucleation*, fase baru terbentuk dari liquid murni yang melewati keadaan fluktuasi dari kelompok molekul, untuk air hanya terjadi pada temperatur rendah biasanya dibawah  $-40^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan untuk *heterogeneous nucleation* lebih banyak terjadi pada larutan, selain itu permukaan luar yang memberikan objek lain misalnya kotor, partikel dari dinding dapat membantu terjadinya *nuclei*. Sehingga *nucleation* dimulai pada temperatur lebih tinggi dibanding *homogeneous nucleation*. Setelah awal *nucleation* terjadi *nucleation* selanjutnya akan mulai terbentuk, hal yang mirip secara teori terhadap konsep pendidikan.

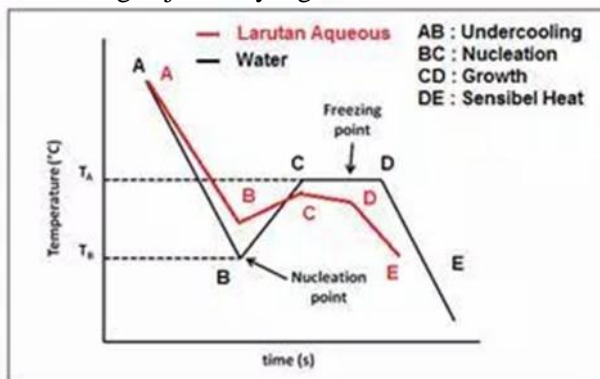
## 3. *Growth* (Pertumbuhan)

Pada pertumbuhan kristal, *nuclei* membesar untuk menjadi kristal dengan penambahan molekul dari larutan supersaturasi. Secara umum terjadi tiga tahap, yaitu

perpindahan masa secara molekul difusi melalui curah larutan melewati lapisan batas sekitar nucleus, penggabungan molekul menuju dinding dan perpindahan panas secara simultan dari kristal ke bagian curah larutan, untuk mindahkan panas meliputi perubahan fase.

Ketiga metode ini terjadi pada tipe scraper *slurry ice generator*. Pada bagian pertumbuhan dibantu oleh putaran *shaft auger* yang dapat membantu perpindahan masa dan perpindahan panas. Sebenarnya terdapat beberapa konsep kinerja tentang *shaft auger*, pertama adalah sebagai pengganggu *thermal boundary layer* secara simultan untuk mencegah terjadinya *ice crystal* yang mengendap pada dinding, yang kedua menyebutkan bahwa *ice crystal* dari dinding diedarkan menuju tengah *ice slurry generator*.

Interaksi antara nukleasi dan pertumbuhan kristal menentukan karakteristik kristal yang terbentuk seperti ukuran, distribusi dan morfologi dari kristal. Ukuran dari kristal sangat dipengaruhi oleh laju kristalisasi, proses pendinginan yang cepat akan menghasilkan ukuran kristal yang kecil dan jumlah yang banyak. Sebaliknya, proses pendinginan yang lambat akan menyebabkan ukuran kristal lebih besar dengan jumlah yang sedikit.

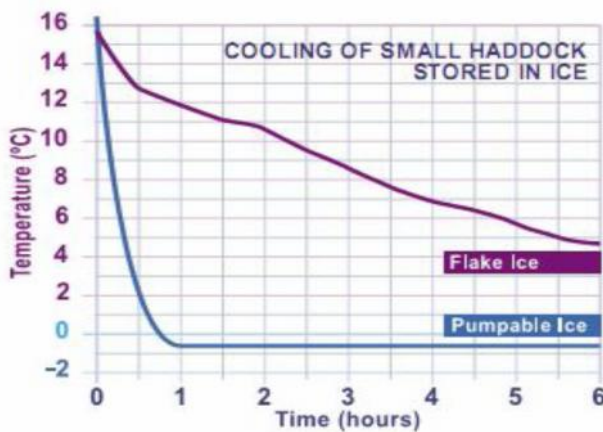


Gambar 2.10. Grafik Hubungan Freezing Point  
(<http://2011.igem.org/Team:KULeuven/Thermodynamics>)

## 2.6 Perkembangan Teknologi *Slurry Ice*

Dewasa ini banyak peneliti melakukan riset dibidang ini karena manfaatnya yang besar sebagai alat penukar panas. Aplikasinya adalah dalam dunia industri kesehatan dan aplikasi langsung pendinginan makanan serta ikan.

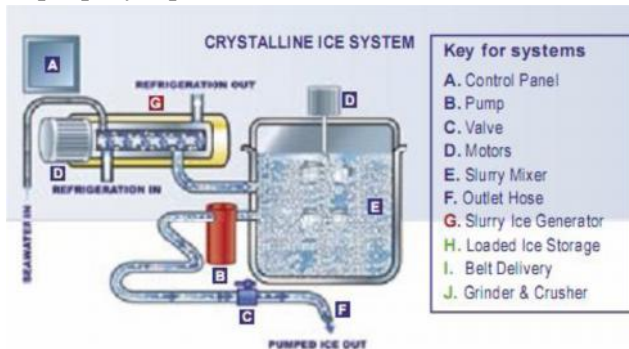
Seafish industry sebagai salah satu pengembang teknologi *slurry ice* berhasil membuat produk *slurry ice* yang dapat mencapai temperatur  $-3,5^{\circ}\text{C}$ , dengan komposisi es hingga mencapai 30%. Seafish menunjukkan keunggulan ice slurry yang dihasilkannya dibandingkan dengan flake ice dalam mendinginkan ikan haddock, yang ditunjukkan dalam gambar berikut :



Gambar 2.11 Perbandingan Waktu Pendinginan Ikan Haddock Menggunakan *Pumpable Ice* dan *Flake Ice* (Seafish Industry)

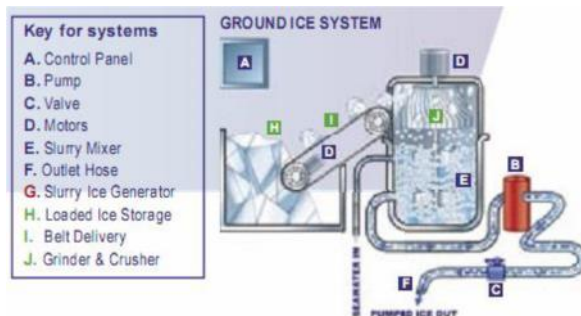
Seafish mengembangkan dua jenis sistem yang digunakan untuk menghasilkan ice slurry yaitu *Crystalline Ice System* dan *Ground Ice System*. Sistem pertama adalah *Crystalline Ice System*. Pada sistem ini terdapat *slurry ice* generator yang berfungsi untuk memproduksi ice slurry dari

air laut. *Slurry ice* yang telah terbentuk ditampung dalam *ice storage* yang dilengkapi dengan pengaduk. *Ice storage* dihubungkan ke pompa yang berfungsi mengalirkan *ice slurry* ke tempat penyimpanan ikan.



Gambar 2.12 Mesin *Slurry Ice* Crystalline Ice System  
(*Seafish Industry*)

Sistem kedua adalah *Ground Ice System* menggunakan bahan dasar bongkahan es. Bongkahan es ini dihancurkan oleh pisau yang berputar, kemudian dicampurkan dengan air laut, sehingga membentuk *slurry ice*. Seperti pada sistem pertama, *slurry ice* yang terbentuk ditampung dalam *ice storage* yang dilengkapi pengaduk dan dihubungkan dengan pompa



Gambar 2.13 Mesin *Slurry Ice* Ground Ice System  
(*Seafish Industry*)

## 2.7 Salinitas Air Laut

Salinitas adalah kadar garam terlarut dalam air. Satuan salinitas adalah per mil (‰), yaitu jumlah berat total (gr) material padat seperti NaCl yang terkandung dalam 1000 gram air laut. Salinitas merupakan bagian dari sifat fisik-kimia suatu perairan, selain suhu, pH, substrat dan lain-lain. Salinitas dipengaruhi oleh pasang surut, curah hujan, penguapan, presipitasi dan topografi suatu perairan. Akibatnya, salinitas suatu perairan dapat sama atau berbeda dengan perairan lainnya, misalnya perairan darat, laut dan payau. Satuan yang ditunjukkan dalam menghitung salinitas adalah part per thousand (ppt) atau dengan practical salinity unit (psu). Kisaran salinitas air laut adalah 30-35‰, estuari 5-35‰ dan air tawar 0,5-5‰.

## 2.8 Jenis-Jenis Alat Penangkapan Ikan

### 1. Pukat Udang (*Shrimp Trawl*)

Pukat udang adalah jenis jaring berbentuk kantong dengan sasaran tangkapannya udang. Jaring dilengkapi sepasang (2 buah) papan pembuka mulut jaring (*otter board*) dan *Turtle Excluder Device/TED*, tujuan utamanya untuk menangkap udang dan ikan dasar (*demersal*), yang dalam pengoperasiannya menyapu dasar perairan dan hanya boleh ditarik oleh satu kapal motor.

### 2. Jaring Angkat (*Lift Net*)

Jaring angkat adalah alat penangkapan ikan berbentuk lembaran jaring persegi panjang atau bujur sangkar yang direntangkan atau dibentangkan dengan menggunakan kerangka dari batang kayu atau bambu (bingkai kantong jaring) sehingga jaring angkat membentuk kantong.

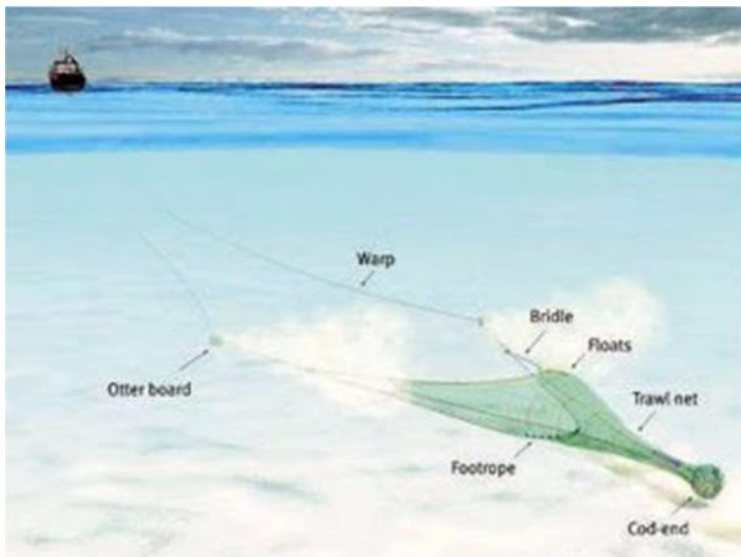
### 3. Pancing (*Hook and Lines*)

Pancing adalah alat penangkapan ikan yang terdiri dari sejumlah utas tali dan sejumlah pancing. Setiap pancing menggunakan umpan atau tanpa umpan, baik umpan alami

ataupun umpan buatan. Alat penangkapan ikan yang termasuk dalam klasifikasi pancing, yaitu rawai (*long line*) dan pancing

#### 4. Pukat Ikan (*Fish Net*)

Pukat Ikan atau *Fish Net* adalah jenis penangkap ikan berbentuk kantong bersayap yang dalam operasinya dilengkapi (2 buah) papan pembuka mulut (*otter board*), tujuan utamanya untuk menangkap ikan perairan pertengahan (*mid water*) dan ikan perairan dasar (*demersal*), yang dalam pengoperasiannya ditarik melayang di atas dasar hanya oleh 1 (satu) buah kapal bermotor.



Gambar 2.14 Pukat Ikan

(<http://mukhtar-api.blogspot.co.id/2008/09/mengenal-alat-penangkapan-ikan.html>)

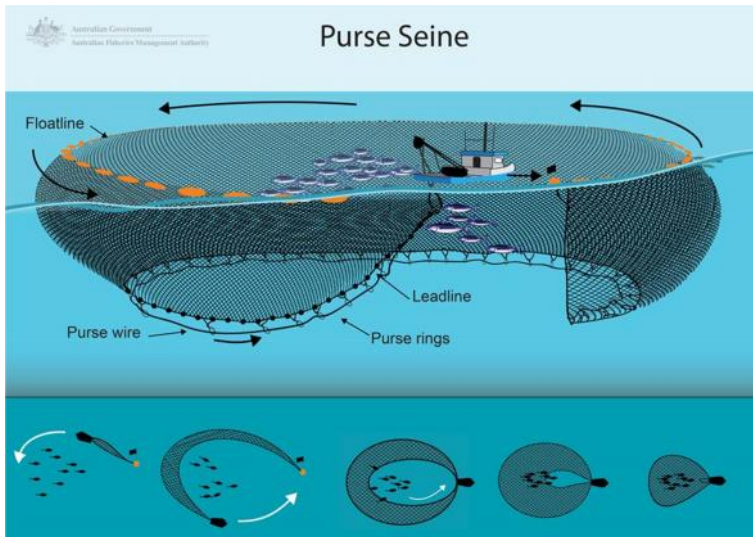
#### 5. Pukat Kantong (*Seine Net*)

Pukat Kantong adalah alat penangkapan ikan berbentuk kantong yg terbuat dari jaring & terdiri dari 2 (dua) bagian sayap, badan dan kantong jaring. Bagian sayap pukat

kantong (*seine net*) lebih panjang dari pada bagian sayap pukot tarik (*trawl*). Alat tangkap ini digunakan untuk menangkap berbagai jenis ikan pelagis, dan demersal. Pukat Kantong terdiri dari Payang, Dogol dan Pukat Pantai.

#### 6. Pukat Cincin (*Purse Seine*)

Pukat cincin atau jaring lingkaran (*purse seine*) adalah jenis jaring penangkap ikan berbentuk empat persegi panjang atau trapesium, dilengkapi dengan tali kolor yang dilewatkan melalui cincin yang diikatkan pada bagian bawah jaring (tali ris bawah), sehingga dengan menarik tali kolor bagian bawah jaring dapat dikuncupkan sehingga gerombolan ikan terkurung di dalam jaring.



Gambar 2.15 Pukat Cincin

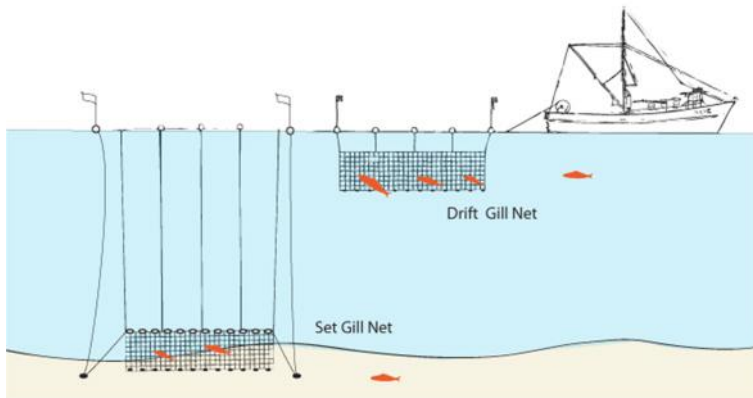
(<http://www.afma.gov.au/portfolio-item/purse-sein>)

#### 7. Jaring Insang (*Gillnet*)

Jaring insang adalah alat penangkapan ikan berbentuk lembaran jaring empat persegi panjang, yang mempunyai



ukuran mata jaring merata. Lembaran jaring dilengkapi dengan sejumlah pelampung pada tali ris atas dan sejumlah pemberat pada tali ris bawah. Ada beberapa gill net yang mempunyai penguat bawah (*srampat/selvedge*) terbuat dari saran sebagai pengganti pemberat. Tinggi jaring insang permukaan 5-15 meter & bentuk gill net empat persegi panjang atau trapesium terbalik, tinggi jaring insang pertengahan 5-10 meter dan bentuk gill net empat persegi panjang serta tinggi jaring insang dasar 1-3 meter dan bentuk gill net empat persegi panjang atau trapesium. Bentuk *gillnet* tergantung dari panjang tali ris atas dan bawah.



Gambar 2.16 Jaring Insang

([http://www.montereyfish.com/pages/methods/oo\\_gillnett.htm](http://www.montereyfish.com/pages/methods/oo_gillnett.htm))

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB III METODOLOGI**

Metedologi penelitian yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah mennganalisa beban pendingin dan mendesain sistem *slurry ice* yang dihasilkan dengan menggunakan mesin refrigerasi kompresi uap yang menggunakan air laut.

### **3.1 Identifikasi dan perumusan masalah**

Penulisan tugas akhir ini dimulai dengan mengidentifikasi masalah dan merumuskan masalah mengapa desain sistem pendingin menggunakan *slurry ice* pada kapal perikanan 30 GT dijadikan bahan penelitian. Batasan masalah dibuat untuk lebih memfokuskan permasalahan yang diangkat untuk lebih memudahkan pengerjaan tugas akhir

### **3.2 Studi Literatur**

Pengumpulan bahan pustaka untuk menunjang penulisan tugas akhir tentang desain sistem pendingin menggunakan *slurry ice* pada kapal perikanan 30 GT didapat dari berbagai sumber seperti :

- a. Buku
- b. Tugas akhir
- c. Paper
- d. Internet
- e. Jurnal

Sedangkan dalam mencari literatur mengenai desain sistem pendingin menggunakan *slurry ice* pada kapal perikanan 30 GT dilakukan di beberapa tempat seperti :

1. Laboratorium Mesin Fluida dan Sistem Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ITS
2. Ruang Baca FTK
3. Perpustakaan Pusat ITS

Manfaat dari studi literatur untuk penulisan tugas akhir ini yaitu mempermudah dalam pengerjaan dan mendapatkan referensi terkait penelitian sebelumnya.

### **3.3 Pengumpulan Data**

Pengumpulan data diperlukan untuk perhitungan analisa beban pendingin dan juga dalam pendesainan sistem pendingin pada kapal. Data yang diperlukan berupa GA kapal, volume ruang palkah kapal dan juga lama pelayaran.

### **3.4 Menghitung Beban Pendingin**

Menganalisa beban pendingin yang harus dapat diambil refrigeran dengan menggunakan penukar panas atau evaporator.

### **3.5 Pemilihan Sistem dan Refrigeran**

Dalam pemilihan sistem yang digunakan perlu diperhatikan adalah kesesuaian dengan ukuran kapal oleh sebab itu sistem yang digunakan adalah dengan menggunakan sistem kompresi uap sederhana karena lebih sedikit menggunakan komponen utama dari sistem. Kemudian jenis refrigeran yang dipilih adalah karena refrigerant yang dapat beroperasi pada tempertur rendah

### **3.6 Perancangan atau Pemilihan Komponen**

Untuk merancang atau memilih komponen dilakukan perhitungan menggunakan termodinamika sederhana.

### **3.7 Mendesain Komponen Utama Sistem**

Menggambar komponen utama sistem untuk mengetahui dimensi dari tiap komponen utama.

### **3.8 Menggambar *Keyplan* Sistem**

Menggambar *keyplan* bertujuan untuk mengetahui alur kerja dan prose dari sistem pendingin menggunakan *slurry ice* pada kapal perikanan.

### **3.9 Mendesain Sistem *Slurry Ice* Pada Kapal**

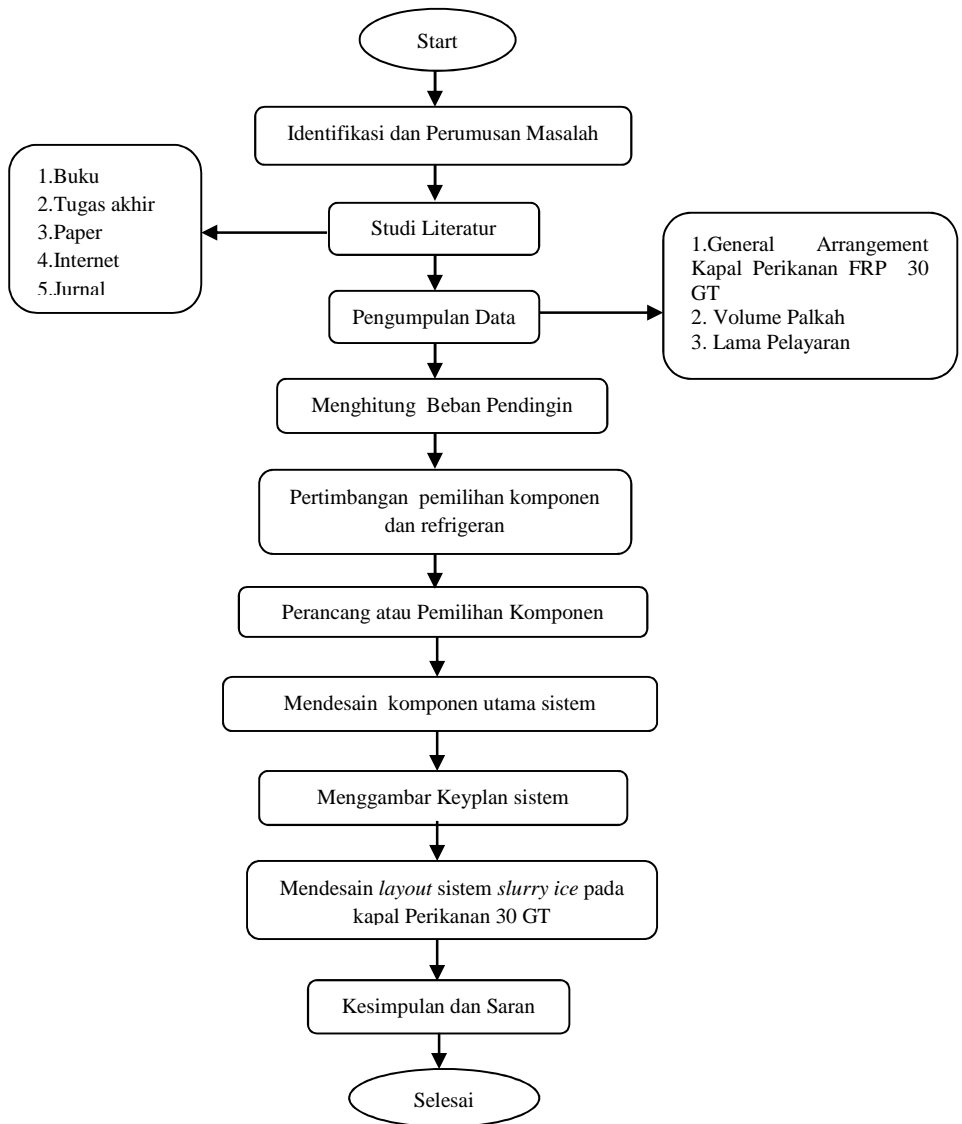
Mendesain sistem dan menentukan peletakan komponen utama pada kapal perikanan 30 GT. Kemudian melakukan penghitungan penambahan kebutuhan daya genset pada kapal dan penambahan tangki bahan bakar di kapal.

### **3.10 Kesimpulan dan Saran**

Untuk penarikan kesimpulan merupakan jawaban dari perumusan masalah dan bagian bagian penting dari pembahasan. Sedangkan saran bertujuan untuk pengembangan penulisan tugas akhir.

### **3.11 Diagram Alir**

Gambar 3.1 di bawah ini memperlihatkan tahapan pengerjaan dari metodologi yang digunakan dalam Tugas Akhir.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

## BAB IV PEMBAHASAN

Dalam penulisan tugas akhir ini sistem pendingin kompresi uap yang akan dirancang berdasarkan perhitungan beban pendingin pada kapal perikanan dengan kapasitas 30 GT. Yang perlu diperhatikan dalam mendesain sistem ini yaitu perlu dilakukan analisis beban pendingin yang harus dipenuhi oleh mesin pendingin. Selanjutnya dilakukan penentuan parameter penting dan perhitungan setiap komponen serta pemilihan spek dari tiap komponen.

### 4.1 Data Utama Kapal

- Tipe Kapal : Kapal ikan FRP
- Panjang Utama Kapal (LOA) : 18,5 Meter
- Lebar (B) : 4,2 Meter
- Tinggi Geladak (H) : 2 Meter
- Sarat Benam Air (T) : 1,2 Meter
- Gross Tonnage (GT) : 30 GT
- Mesin penggerak marine Diesel : 170 HP
- Kecepatan Jelajah (V) : 10 Knot
- Genset : 5 kVA
- Tanki Bahan Bakar (FOT) : 5 m<sup>3</sup>
- Tanki Air Tawar (FWT) : 2 m<sup>3</sup>

Kapal yang akan didesain sistem pendingin *slurry ice* adalah kapal ikan 30 GT dengan bahan FRP (*Fibreglass Reinforced Plastic*) terdiri dari 3 bagian utama yaitu badan kapal bagian bawah (*hull*), bagian geladak kapal (*deck*) dan bagian bangunan atas kapal (*superstructure*).

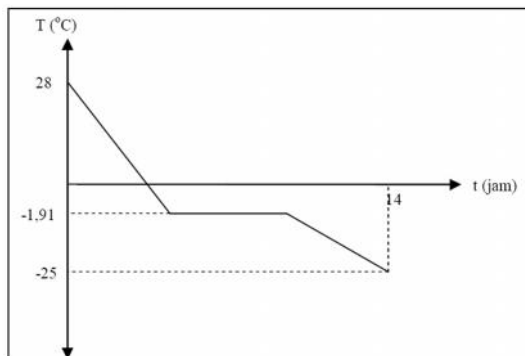
Kapal ikan 30 GT menggunakan alat tangkap Gill Net. Kapal ini juga menggunakan propulsi dengan mesin diesel inboard berbaling-baling satu dan untuk penangkapan ikan di perairan 100 mil dari pantai.

#### 4.2 Perhitungan Beban Pendinginan

Hasil tangkapan ikan pada kapal perikanan akan tetap dalam keadaan layak konsumsi jika temperatur pada ruang palkah tetap dalam temperatur rendah. Temperatur *slurry ice* yang ingin dicapai sebesar  $-2,5^{\circ}\text{C}$  dan suhu tersebut juga yang harus dicapai oleh mesin refrigerasi.

Temperatur air laut diperairaan Indonesia berada pada rentang  $26$  s.d  $29^{\circ}\text{C}$ . Temperatur tersebut sesuai dengan data dari peta perairan laut dunia. Dari rentang temperatur tersebut diambil temperatur air laut yang dijadikan bahan dasar *slurry ice* sebesar  $28^{\circ}\text{C}$ . Kemudian titik beku air laut didapat sebesar  $-1,91^{\circ}\text{C}$ . Dari ketiga data diatas maka dibuat diagram pendinginan air laut yang menghasilkan *slurry ice* seperti pada gambar 4.1.

Dari diagram tersebut menjelaskan temperatur awal air laut  $28^{\circ}\text{C}$  hingga mencapai titik beku  $-1,91^{\circ}\text{C}$ . Kemudian dalam proses pembekuan ice slury yang terbentuk terdiri dari 70% air dan 30% es. *Slurry ice* yang sudah terbentuk selanjutnya akan didinginkan hingga temperature  $-2,5^{\circ}\text{C}$ . Parameter lainnya yaitu lama waktu pelayaran yang dihitung dari laut ke darat yaitu sekitar 14 jam hasil tersebut didapat dari data penelitian sebelumnya.



Gambar 4. 1 Diagram Pendinginan Air laut



Massa air laut juga penting diperhatikan dalam menentukan beban pendingin disesuaikan dengan volume palkah terbesar. Perbandingan banyaknya antara es dan ikan adalah 75% : 25%, sehingga perhitungan massa air laut yang akan didinginkan adalah :

$$\begin{aligned}
 \text{Massa (M}_{\text{sw}}) &= \rho_{\text{sw}} \cdot 75\% V_{\text{palka}} \\
 &= 1024,12 \text{ kg/m}^3 \cdot 6 \text{ m}^3 \\
 &= 6144,72 \text{ kg}
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

Kemudian untuk menentukan beban pendingin yang dipenuhi oleh sistem dihitung dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 Q &= M \frac{[C_{p_{\text{air}}}(T_{\text{air}} - T_{\text{beku}}) + 0.3h_{\text{fg}} + 0.3C_{p_{\text{es}}}(T_{\text{beku}} - T_{\text{slurry}}) + 0.7C_{p_{\text{air}}}(T_{\text{beku}} - T_{\text{slurry}})]}{t} \\
 Q &= M \frac{[C_{p_w}(28 - 1.91) + 0.3h_{\text{fg}} + 0.3C_{p_i}(2.5 - 1.91) + 0.7C_{p_w}(2.5 - 1.91)]}{(14.3600)} \\
 &= 32,06 \text{ kW}
 \end{aligned}
 \tag{4.2}$$

Nilai dari beban pendingin tersebut merupakan panas yang harus diambil oleh refrigeran dengan menggunakan evaporator. Panas yang dimaksud adalah panas dari air laut itu sendiri. Atau nilai tersebut dapat dikonversikan ke satuan Ton Refrigerasi (TR) dimana 1 kw = 0,2843 TR, maka nilai dari beban pendingin tersebut sama dengan 6.84 TR.

#### 4.3 Pemilihan Sistem dan Refrigeran

Dalam pemilihan sistem yang digunakan perlu diperhatikan adalah kesesuaian dengan ukuran kapal oleh sebab itu sistem yang digunakan adalah dengan menggunakan sistem kompresi uap sederhana karena lebih sedikit menggunakan komponen utama dari sistem. Kemudian jenis refrigeran yang dipilih adalah R-507a karena refrigerant ini dapat beroperasi pada tempertur rendah.

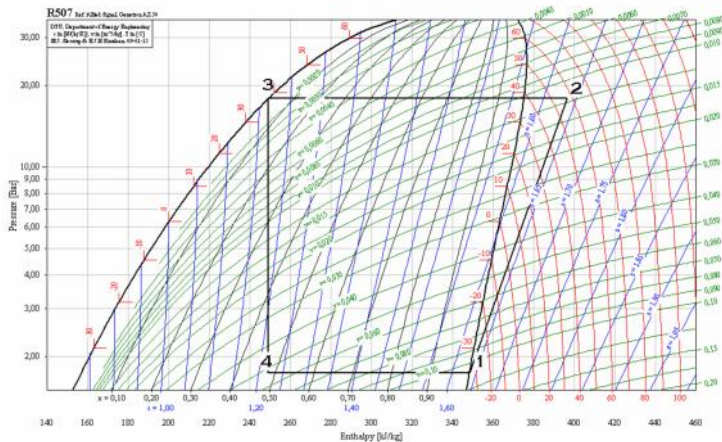
Tabel 4. 1 Refrigeran Temperatur Operasi Rendah

Parameter	Refrigeran			
	R-125	R-507a	R-407c	R-404a
Titik didih pada 1 atm (°C)	-48,1	-46	-43,9	-46,4
ODP	0	0	0	0
GWP	3.400	3.985	1.774	3.922
Golongan	A1	A1	A1	A1

Tabel 4. 2 Karakteristik Refrigeran R-507a

Parameter	Refrigeran
	R-507a
Titik didih pada 1 atm (°C)	-46
ODP	0
GWP	3.985
Golongan	A1

Berdasarkan kurva tekanan terhadap entalpi untuk R-507a pada gambar 4.2 dapat ditentukan nilai entalpi untuk setiap tingkat keadaan.



Gambar 4. 2 Diagram Tekanan Terhadap Entalpi R-507a

Tingkat keadaan refrigeran R-507a pada kondisi operasi sistem adalah sebagai berikut:

$T_{\text{eva}}$	$= -35^{\circ}\text{C}$	$h_1$	$= 339,4 \text{ kJ/kg}$
$T_{\text{cond}}$	$= 38^{\circ}\text{C}$	$h_2$	$= 389,2 \text{ kJ/kg}$
$P_{\text{eva}}$	$= 1,408 \text{ bar}$	$h_3$	$= 254,9 \text{ kJ/kg}$
$P_{\text{cond}}$	$= 17,43 \text{ bar}$	$h_4$	$= 254,9 \text{ kJ/kg}$

Berdasarkan tingkat keadaan ini kemudian ditentukan laju aliran massa refrigeran sesuai kebutuhan kapasitas pendinginan evaporator dengan persamaan kesetimbangan energi untuk sistem volume tetap pada kondisi tunak. Dengan menggunakan persamaan (2.1) maka diperoleh laju aliran massa refrigeran sebesar 0,21 kg/s. Kemudian melalui persamaan kesetimbangan energi kerja dari kompresor dan panas yang dibuang melalui kondensor dapat dihitung sebagai berikut :

Kerja kompresor :

$$\begin{aligned}
 W_{\text{comp}} &= m. (h_1 - h_2) & (4.3) \\
 &= 0,21 \text{ kg/s} \cdot (339,4 - 389,2) \text{ kJ/kg} \\
 &= -10,64 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Nilai besaran yang negatif menandakan kompresor menghasilkan daya kerja.

Panas yang dibuang di kondensor :

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{cond}} &= m. (h_3 - h_2) & (4.4) \\
 &= 0,21 \text{ kg/s} \cdot (254,9 - 389,2) \text{ kJ/kg} \\
 &= -28,7 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Nilai tersebut negatif dikarenakan bahwa panas keluar dari sistem. COP sendiri merupakan perbandingan dari panas yang diambil melalui evaporator dengan kerja kompresor yang dibutuhkan. Dari hasil perhitungan didapat nilai COP sebesar 2,26.

Tabel 4. 3 Spesifikasi Tiap Komponen

Parameter	Refrigeran
Refrigeran	R-507a
Q evaporator (kW)	32,06
Q kondensor (kW)	28,7
Laju aliran massa refrigeran (kg/s)	0,127
Kerja Kompresor (kW)	10,64

#### 4.4 Perancangan atau Pemilihan Komponen Utama

Perancangan komponen hanya dilakukan pada komponen evaporator yang juga berfungsi sebagai tempat terbentuknya *slurry ice*. Sedangkan pemilihan komponen seperti kondensor, kompresor dan juga pompa dilakukan melalui perhitungan kebutuhan yang ingin dicapai oleh masing-masing komponen dalam sistem.

##### 4.4.1 Perancangan Evaporator

Evaporator pada sistem ini selain merupakan alat penukar panas juga merupakan tempat terbentuknya *slurry ice* yang berbentuk tabung dan didalamnya terdapat alat pengaduk agar ice slurry tidak membeku pada dinding tabung. Air laut masuk kedalam tabung sedangkan refrigeran mengalir melalui pipa yang ada didalam tabung untuk mendinginkan air laut.

##### Dimensi Evaporator

Dimensi evaporator dihitung sesuai dengan kapasitas kebutuhan *ice slurry* , yaitu sebesar 8 m<sup>3</sup>. Evaporator dirancang untuk memenuhi kebutuhan beban pendinginan sebesar 32,06 kW. Sedangkan untuk pipa yang dipilih dalam mengalirkan refrigeran menggunakan pipa *steel* yang di *galvanized*.

Hasil perhitungan terhadap koefisien perpindahan panas total diperlukan untuk menentukan dimensi evaporator yang dibutuhkan. Perhitungan terhadap panjang pipa evaporator dilakukan sebagai berikut :

$$L = \frac{Q_{eva}}{U_o \cdot LMTD_f \cdot d_o} \quad (4.5)$$

L = panjang tabung evaporator yang dibutuhkan (m)

Q<sub>eva</sub> = kapasitas pendinginan evaporator (W)

$U_o$  = koefisien perpindahan panas total ( $W/m^2 K$ )  
 $LMTD$  = perbedaan temperatur rata-rata fluida ( $K$ )  
 $d_o$  = Diameter luar tabung ( $m$ )

Dari hasil perhitungan, diperoleh panjang pipa 155 m. Pipa tersebut akan dirangkai mengelilingi tangki air laut.

Diameter pipa refrigeran ditentukan berdasarkan kecepatan maksimal refrigeran untuk meminimalkan terjadinya *pressure drop* di sepanjang pipa. Kecepatan aliran refrigeran maksimum terjadi diasumsikan terjadi pada kecepatan 0,51 s.d.0,64 m/s, untuk perhitungan diambil kecepatan 0,51 m/s. Diameter pipa dapat dihitung dengan persamaan :

$$\frac{f \cdot D_i^2}{4} = \frac{m}{\dots \cdot v} \quad (4.6)$$

$D_i$  = Diameter dalam pipa ( $m$ )

$m$  = laju aliran massa refrigeran ( $kg / s$ )

$\rho_l$  = rapat massa refrigeran cair ( $kg / m^3$ )

$v$  = laju aliran refrigeran ( $m / s$ )

Dari hasil perhitungan diperoleh diameter sebesar 15,48 mm atau 0,607 inch. Berdasarkan hasil perhitungan standar pipa yang direkomendasikan ANSI adalah :

Outside diameter : 1,050 inch atau 26,67 mm

Inside diameter : 0,434 inch atau 11,02 mm

Thickness : 0,308 inch atau 7,82 mm

Nominal Pipe size : 0.75 inchi

Kemudian setelah diameter pipa ditentukan, dengan menggunakan persamaan Churchill dan Chu untuk konveksi bebas maka koefisien perpindahan panas bagian air laut dapat ditentukan :

$$Nu = \left\{ 0.60 + \frac{0.387 \cdot Ra_D^{1/6}}{\left[ 1 + (0.559 / Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\} \quad (4.7)$$

$Nu$  = Bilangan *Nusselt*

$Ra$  = Bilangan *Rayleigh*

$Pr$  = Bilangan *Prandtl*

Dengan menggunakan persamaan diatas , bilangan *Nusselt* dihitung setelah mengetahui nilai dari bilangan *Reyleigh* dan bilangan *Prandtl* Bilangan *Prandtl* dapat diketahui melalui tabel sifat air laut, sedangkan bilangan *Rayleigh* dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Ra_D = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) D_o^3}{\nu \cdot \Gamma} \quad (4.8)$$

$g$  = percepatan gravitasi, dipilih nilai 9,81 m/s<sup>2</sup>

$\beta$  = koefisien ekspansi termal volumetrik (1/K)

$T_s$  = temperatur permukaan pipa ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{\infty}$  = temperatur di luar pipa ( $^{\circ}\text{C}$ )

$D_o$  = diameter luar pipa (m)

$\nu$  = viskositas kinematik ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$\alpha$  = difusivitas termal ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

Melalui asumsi awal bahwa temperatur permukaan ( $T_s$ ) sebesar  $-5^{\circ}\text{C}$  maka didapat bilangan *Rayleigh* sebesar 3,96.106. Setelah bilangan *Rayleigh* diketahui, bilangan *Nusselt* dapat dihitung dengan persamaan (4.8). Hasil perhitungan menghasilkan nilai *Nu* sebesar 26,72. Kemudian, dari hasil perhitungan terhadap bilangan *Nusselt*, dapat dihitung nilai koefisien perpindahan panas sisi air laut dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} h_{oD} &= \frac{Nu.k}{D_o} \\ &= \frac{26,72 \cdot 0,05 \text{ W / m.K}}{0,019 \text{ m}} \\ &= 70,13 \text{ W/m}^2.\text{K} \end{aligned} \quad (4.9)$$

### Perpindahan Panas Bagian Refrigeran

Jenis evaporator yang digunakan pada mesin pendingin ini adalah *Direct Expansion Evaporator*. Dalam menghitung nilai koefisien perpindahan panas di dalam pipa, di mana refrigeran mengalami pemanasan, pendidihan, dan evaporasi, dapat digunakan persamaan empirik yang diberikan oleh Dembi, Dhar, dan Arora.



$$\frac{hd_i}{k_f} = 23388,5 \cdot \left[ \frac{Q}{f_g \cdot h_{fg} \cdot w''} \right]^{0,64} \left[ \frac{gd_i}{h_{fg}} \right]^{0,27} \left[ \frac{G^2 \cdot d_i}{\dagger \dots f} \right]^{0,14} \quad (4.10)$$

Parameter yang dihitung terlebih dahulu yaitu laju aliran massa per satuan luas (G) dan laju pertumbuhan uap (w''). Untuk menghitung laju aliran massa per satuan luas (G) persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} G &= \frac{4m}{f \cdot D_i^2 \cdot N_t} \\ &= \frac{4.0,127 \text{ kg / s}}{f \cdot \left( \frac{15,75}{1000} \right)^2 \cdot 1} \\ &= 651,6 \text{ kg / m}^2\text{s} \end{aligned} \quad (4.11)$$

m = laju aliran massa (kg/s)

D<sub>i</sub> = diameter dalam tabung (m)

N<sub>t</sub> = jumlah tabung

Sedangkan untuk menghitung laju pertumbuhan uap, digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} w'' &= 0,36 \times 10^{-3} \left( \frac{p_c}{p} \right)^{1,4} \\ &= 0,36 \times 10^{-3} \left( \frac{37,15}{1,75} \right)^{1,4} \end{aligned} \quad (4.12)$$

$$= 0,026$$

Setelah parameter tersebut diketahui, nilai koefisien perpindahan panas dapat dihitung dengan persamaan (4.8). Dari hasil perhitungan, diperoleh nilai koefisien perpindahan panas dalam pipa (sisi refrigeran) adalah sebesar 4049,6 W/m<sup>2</sup> K.

### Perhitungan Faktor Pengotor

Nilai dari faktor pengotor pada penukar panas ditentukan oleh jenis fluida, temperatur kerja, dan kecepatan aliran fluida. Berdasarkan data yang diberikan oleh TEMA, untuk refrigeran cair faktor pengotor bernilai 0,000176 m<sup>2</sup> /W.K. Sedangkan untuk air laut dengan temperatur kurang dari 51°C dan kecepatan kurang dari 1 m/s, besarnya faktor pengotor adalah 8,8.10<sup>-5</sup> m<sup>2</sup>/W.K

### Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan

Nilai dari koefisien perpindahan panas keseluruhan berpengaruh terhadap analisis kerja penukar panas. Nilai ini mencakup koefisien perpindahan panas keseluruhan telah mencakup koefisien perpindahan panas dalam tabung (sisi refrigeran), luar tabung (sisi air laut), konduktivitas termal dinding evaporator, dan faktor pengotor. Untuk menghitung koefisien perpindahan panas total digunakan persamaan :

$$U_o = \frac{1}{\frac{d_o}{d_i \cdot h_i} + d_o \cdot \frac{\ln(d_o/d_i)}{2k} + \frac{1}{h_o} + R_{f_o} + \frac{d_o}{d_i} \cdot R_{f_i}} \quad (4.13)$$

Nilai yang telah didapat dari perhitungan koefisien perpindahan panas di dalam dan di luar tabung kemudian dimasukkan kedalam persamaan diatas , serta menggunakan data konduktivitas termal material (tembaga: k = 52 W/m.K) dan faktor pengotor yang telah dijelaskan pada bagian

sebelumnya, maka nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan adalah  $67,3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ .

#### 4.4.2 Pemilihan Kompresor

Pemilihan kompresor harus mempertimbangkan jenis refrigerant, daya kerja dan laju massa aliran. Kompresor yang digunakan jenis *reciprocating*. Dalam memilih kompresor dipilih kompresor yang memiliki konsumsi daya mendekati kebutuhan daya secara teoretis  $10,64 \text{ kW}$ .

Rasio kompresi yang dicapai dapat diketahui melalui sifat refrigerant R-507a pada temperatur evaporasi dan temperatur kondensasi. Laju aliran massa refrigeran dapat diketahui dari tingkat keadaan refrigeran sebagai berikut.

$$P_{\text{eva}} : 0,381 \text{ MPa}$$

$$P_{\text{cond}} : 1,46 \text{ MPa}$$

$$h_1 : 353,7 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 : 379,9 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 : 243,7 \text{ kJ/kg}$$

$$h_4 : 243,7 \text{ kJ/kg}$$

Perhitungan untuk rasio kompresi yang dapat dicapai kompresor adalah sebagai berikut :

$$\text{rasio kompresi} = \frac{P_{\text{cond}}}{P_{\text{eva}}} = \frac{1,46}{0,38} = 3,84 \quad (4. 14)$$

Perhitungan laju aliran massa oleh kompresor adalah sebagai berikut:

$$m_{\text{ref}} = \frac{W_{\text{comp}}}{(h_2 - h_1)} = \frac{10,64 \text{ kW}}{(379,9 - 353,7) \text{ kJ} / \text{kg}} = 0,131 \text{ kg/s} \quad (4. 15)$$

Kemudian kompresor yang dipilih adalah kompresor merk bitzer tipe 4VES-10Y lebih memenuhi kriteria yang diinginkan sistem.

Tabel 4. 4 Spesifikasi Utama Kompresor 4VES-10Y

Tipe Kompresor	Rasio Kompresi	Daya Kompresor (kW)	Laju Aliran Massa (kg/s)
4VES-10Y	3,84	12	0,127

Tabel 4. 5 Spesifikasi Kompresor 4VES-10Y

Parameter	Satuan	Nilai
Motor version	-	1
Displacement at 1450 min-1	m <sup>3</sup> /hr	34,73
Number of Cylinder	-	4
Oil charge	dm <sup>3</sup>	2,60
Weight	Kg	139
Pipe Connections (suction line)	Mm	28
Pipe Connections (discharge line)	Mm	22
Max. operating current	Ampere	19,9
Max. power consumption	kW	12

#### 4.4.3 Pemilihan Kondensor

Penukar panas yang dipilih sebagai kondensor dalam sistem ini merupakan jenis *Shell and Tubes*. Kondensor juga

dipilih berdasarkan jenis refrigerant, daya kerja, dan factor pengotor.berdasarkan perhitungan (4.4) sistem ini harus bisa memindahkan panas 28,7 kW. Berdasarkan temperatur yang telah ditentukan kemudian ditentukan sifat sifat fluida yang tersedia dalam tabel berikut ini :

Tabel 4. 6 Sifat Fluida Pada Kondisi Operasi Kondensor

<b>Properties</b>	<b>Shell Side</b>
$T_{\text{bulk}}$ (K)	273
$p_c$ (bar)	37,15
$m$ (kg/s)	0,127
$\rho_l$ (kg/m <sup>3</sup> )	1157
$\rho_v$ (kg/m <sup>3</sup> )	32,46
$K_l$ (W/m.K)	0,07681
$K_v$ (W/m.K)	0,01293
$C_{p,l}$ (J/kg.K)	1376,0
$C_{p,v}$ (J/kg.K)	986,2
$\mu_l$ (Ns/m <sup>2</sup> )	$1,757 \cdot 10^{-4}$
$\mu_v$ (Ns/m <sup>2</sup> )	$1,121 \cdot 10^{-5}$
$h_l$ (J/kg)	200.000
$h_v$ (J/kg)	361.500
$\sigma$ (N/m)	0,00736

Dari data yang diperoleh, kecepatan optimum refrigeran yang melalui tabung di kondensor berkisar antara 9 s.d 11 m/s. Adapun pada komponen ini dipilih kecepatan refrigeran sebesar 9 m/s. Untuk nilai faktor pengotor digunakan data yang diberikan oleh TEMA untuk refrigeran cair, faktor pengotor yang digunakan sebesar  $0,000176 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ ,

sedangkan untuk uap refrigeran, faktor pengotor yang digunakan adalah sebesar  $0,000352 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

Berdasarkan hasil perhitungan diatas maka kondensor yang dipilih adalah kondensor merk alfalaval tipe CXP 142-XS-2P dengan kapasitas 40 kW.

#### 4.4.4 Pemilihan Pompa

Pemilihan pompa dilakukan untuk mengisi air laut ke dalam *seawater tank* dan untuk mengalirkan air laut dari *seawater tank* kedalam evaporator. Dalam pemilihan pompa yang perlu diperhitungkan adalah kapasitas dan head pompa. Untuk mengisi seawater tank diperkirakan memerlukan waktu 1 jam . Untuk itu perlu dilakukan perhitungan dalam menentukan kapasitas dan head pompa dengan persamaan berikut ini :

$$Q = V / t \quad (4.16)$$

$$= 8 \text{ m}^3 / 1$$

$$= 8 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$= 0,0022 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Kemudian untuk menghitung head pompa digunakan persamaan

$$H_{\text{tot}} = H_s + H_p + H_v + \text{head losses} \quad (4.17)$$

Nilai  $H_s$  diperoleh dari panjang *suction* sampai *discharge* yaitu 1,2 meter.  $H_p$  adalah perbedaan tekanan di *suction* dan *discharge* bernilai 0.  $H_v$  adalah perbedaan kecepatan arus di *suction* dan *discharge* juga bernilai 0. Untuk *Head losses* merupakan nilai dari penjumlahan *head loss suction* dan *head loss discharge*. Sedangkan head loss sendiri merupakan penjumlahan dari *head major* dan *head minor*.

$$Re = (D \times V) / \nu \quad (4.18)$$

$D$  = Diameter dalam pipa

$V$  = kecepatan arus

$\nu$  = Koefisien viskositas kinematik

$$Rn = (D \times V) / \nu$$

$$= (0,0112 \times 2,003) / 0,00000010029$$

$$= 223687,306 \text{ (Laminer)}$$

- Untuk perhitungan *Head losses* dibagian suction  
 $= 0.02 + 0.0005/\text{dm}$

$$= 0.024089973$$

$L$  = Length of Suction Side

$$= 0.8 \quad \text{m}$$

$$\nu = 2.003 \quad \text{m/s}$$

$$D = \text{dm}$$

$$= 11.02 \quad \text{mm}$$

$$\text{Major losses} = f L \frac{v^2}{D} \quad (4.19)$$

$$= 0.024 \times 0,8 \times \frac{2,003^2}{(11.02/1000 \times 2 \times 9,8)}$$

$$= 0.36 \text{ m}$$

$$\text{Minor losses} = \sum K \frac{v^2}{2g} \quad (4.20)$$

$$= 1,8 \times \frac{2,003^2}{2 \times 9,81}$$

$$= 0.37 \text{ m}$$

Maka *head loss suction* 0,72 m

- Untuk perhitungan *Head losses* dibagian discharge  
 $= 0.02 + 0.0005/\text{dm}$

$$= 0.024089973$$

$$L = \text{Length of Suction Side}$$

$$= 1 \text{ m}$$

$$v = 2.003 \text{ m/s}$$

$$D = \text{dm}$$

$$= 11.02 \text{ mm}$$

$$\text{Major losses} = f L \frac{v^2}{D} \quad (4.19)$$



$$= 0.024 \times 0,8 \times 2,003^2 / (11.02/1000 \times 2 \times 9,81)$$

$$= 0.45 \text{ m}$$

$$\text{Minor losses} = ( \sum k ) \times v^2 / 2g$$

$$= 0,86 \times 2,003^2 / 2 \times 9,81$$

$$= 0.18 \text{ m}$$

Maka *head loss discharge* 0,63 m

Maka *Head losses* dari perhitungan diatas adalah 1,35 m. Setelah itu head total dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (4.16) dan didapat sebesar 2,55 m. Kemudian dilakukan pemilihan untuk pompa air laut ke dalam *seawater tank* dan untuk mengalirkan air laut dari *seawater tank* kedalam evaporator dari katalog Sili Pump dengan spesifikasi sebagai berikut :

Brand of Pump : SILI PUMP

Type : 50CLZ-7A

Pump Capacity : 10 m<sup>3</sup>/h      0.167 m<sup>3</sup>/min

Pump Head : 17 m

Rotation : 2900 Rpm

#### 4.5 Mendesain Komponen Utama Sistem

Komponen-komponen utama yang sudah dirancang maupun dipilih kemudian dilakukan penggambaran untuk

menunjukkan dimensi tiap tiap komponen. Gambar tiap komponen ini dilampirkan pada lampiran skripsi ini.

#### 4.6 Menggambar Keyplan Sistem

Keyplan sistem ini dibuat untuk mengerti kerja sistem pendingin *slurry ice*. Sistem ini terbagi dalam dua alur yang pertama alur refrigeran dan yang kedua alur air laut.

- Alur Refrigerant

Pada alur ini pertama-tama refrigeran dalam fase uap di sistem ini dinaikan tekanan nya menggunakan kompresor yang kemudian dialirkan menuju kondensor. Setelah didalam kondensor ,refrigeran kemudian diserap panas nya dan berubah fase menjadi cair. Refrigerant ini kemudian diturunkan tekanan nya menggunakan *needle valve* sehingga temperature refrigeran mencapai suhu minus. Refrigeran ini yang kemudian digunakan untuk mendinginkan air laut didalam evaporator atau tangki pembentukan *slurry ice* . Refrigeran cair yang berada didalam evaporator setelah menyerap panas dari airlaut kembali menjadi fase uap kemudian masuk kembali kedalam kompresor.

- Alur Air Laut

Pada proses ini air laut pertama- tama dipompa menuju tangki air laut hingga mencapai kapasitas maksimal. Kemudian air laut tersebut dipompa menuju tangki pembentukan *slurry ice*. Didalam tangki ini air laut kemudian mengalami penurunan suhu akibat panas yang dilepas. Kemudian air laut didalam tangki ini untuk mempercepat pendinginan dan mencegah tidak terjadi pembekuan maka digunakan *auger shaft* yang dipasang *scraper* yang bergerak didalam tangki. Kemudian setelah air laut berubah menjadi *slurry ice* katup tangki dibuka untuk mengalirkan *slurry ice* kedalam palkah.

Untuk gambar keyplan dari sistem pendingin *slurry ice* disajikan dalam lampiran dari skripsi ini.

#### **4.7 Mendesain Sistem *Slurry Ice* Pada Kapal**

Dalam mendesain sistem ini perlu mempertimbangkan keefektifan peletakan komponen sistem. Oleh sebab itu komponen diletakan kan diatas kapal agar tidak mengurangi ruang palkah dari kapal tersebut. Komponen tersebut diletakkan sedemikian rupa sehingga menjadi sistem pendingin *slurry ice*. Komponen sistem yaitu pompa dan tangki air laut diletakan disisi starboard kapal. Pompa diletakan dekat tepi guna memperkecil head loss pompa. Evaporator atau tabung tempat pembentukan *slurry ice* ditempatkan diantara lubang palka supaya penyaluran *slurry ice* lebih mudah untuk dimasukkan kedalam palkah. Sedangkan untuk kondensor dan kompresor diletakan di sisi portside kapal guna menyeimbangkan berat sistem *slurry ice* di kapal.

Setelah dilakukukan pendesainan pada kapal maka kebutuhan dari genset kapal bertambah. Kebutuhan daya genset kapal bertambah maka juga mempengaruhi kapsitas tangki bahan bakar yang lebih besar. Oleh sebab itu dilakukan perhitungan penambahan genset dan tangki bahan bakar.

- **Perhitungan Penambahan Genset Kapal**

Genset kapal pada awalnya memiliki daya sebesar 5 kVA atau setara 4 kW .Kemudian setelah adanya penambahan sistem *slurry ice* di kapal maka kapal membutuhkan genset dengan daya yang lebih besar.

- 2 buah pompa dengan daya masing masing 1,5 kW dikali dengan efisinsi 0,95 sehingga 2 buah pompa membutuhkan daya listrik 2,85 kW
- 1 buah kondensor berdaya 40 kW dikali dengan efisiensi 0,95 sehingga 1 buah kondensor membutuhkan daya 38 kW

- 1 buah kompresor berdaya 12 kW dikali dengan efisiensi 0,95 sehingga 1 buah kompresor membutuhkan daya sebesar 11,4 kW
- 1 buah evaporator berdaya 32,06 dikali dengan efisiensi 0,95 sehingga 1 buah evaporator membutuhkan daya sebesar 30,46 kW

Setelah masing masing komponen utama dari sistem dihitung dan dijumlahkan maka diperoleh penambahan kebutuhan daya genset sebesar 82 ,71 kW. Maka genset kapal kemudian diganti dengan genset merk cummins dengan tipe C125-D5 dengan daya 100 kW. Spesifikasi dan gambar genset pada kapal tertera pada lampiran.

- Perhitungan Penambahan Tangki Bahan Bakar  
Setelah genset kapal diganti otomatis kebutuhan tangki bahan bakar juga bertambah. Oleh sebab itu tangki bahan bakar yang pada awal nya sebesar 5000 liter menjadi 6000 liter. Penambahan volume tangki tertera pada lampiran.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sistem yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sistem kompresi uap sederhana dengan menggunakan refrigeran R507a.
2. Komponen utama yang dirancang adalah evaporator yang juga berfungsi sebagai tangki pembentukan slurry ice dengan kapasitas  $8 \text{ m}^3$  dengan kebutuhan beban pendingin sebesar 32,06 kW
3. Komponen utama yang dipilih berdasarkan kebutuhan daya seperti kondensor, kompresor, dan dua buah pompa. Kondensor yang dipilih berjenis *shell and tube* tipe alfalaval CXP 142-XS-2P dengan daya 40 kW. Kemudian kompresor yang dipilih berjenis *reciprocating* dengan tipe bitzer 4VES-10Y dengan daya 12 kW. Dan untuk pompa yang dipilih dengan tipe Sili Pump 50 CLZ-7A dengan kapasitas  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  dan had pompa sebesar 17 m
4. Dengan memepertimbangkan ruang yang tersisa pada kapal maka sistem *slurry ice* di desain pada bagian main dek kapal untuk efisiensi penggunaan ruang di kapal.
5. Kebutuhan daya dari genset kapal bertambah akibat adanya penambahan komponen sistem *slurry ice* oleh karena itu dilakukan pengantian genset menjadi genset cummins dengan tipe C125-D5 dengan daya 100 kW.
6. Kebutuhan tangki bahan bakar bertambah akibat penggantian genset kapal dari kapasitas awal 5000 L menjadi 6000 L.

## 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan guna pengembangan penelitian ini antara lain adalah :

1. Perlu dilakukan analisa ekonomis guna memperhitungkan antara biaya pembuatan sistem pendingin *slurry ice* dengan biaya menggunakan sistem pendingin konvensional.
2. Perlu dilakukan perhitungan lebih rinci terkait kesetimbangan kapal karena penambahan beban dari komponen sistem .

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Arismunandar, W. dan Heizo Saito. 2002. Penyegaran Udara. PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Dossat, RJ. 1976 Principle of Refrigeration
- Handoko, K. 1981. Teknik Lemari Es. PT. Ichtiar Baru, Jakarta.
- Hartanto, B. 1982. Teknik Mesin Pendingin. BKPI, Tegal.
- Holman, J.P. 1988. Perpindahan Panas (Heat Transfer). Erlangga, Jakarta.
- Ilyas, S. 1983 Teknologi Refrigerasi Hasil Perikanan Jilid I, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. CV. Paripurna, Jakarta.
- Ilyas, S, 1993. Teknologi Refrigerasi Hasil Perikanan Jilid II, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. CV. Paripurna, Jakarta.
- Listiyani,P. 2009. Perancangan Mesin Pendingin Pada Kapal Penangkap Ikan Dengan Kapasitas 30 Gross Tonage. Institut Teknologi Bandung, Bandung
- Stoecker, W.F. dan Jerold, J.W. 1994. Refrigerasi dan Pengkondisian Udara Edisi kedua. PT. Erlangga, Jakarta.
- Sumanto. 2001. Dasar - dasar Mesin Pendingin. Andi, Yogyakarta

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## **LAMPIRAN**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



#### Rapid transit system stays on track with Cummins Power Generation

SANTO DOMINGO, DOMINICAN REPUBLIC - SAMPOL Ingeniería y Obras S.A. is a multinational company dedicated to the promotion and management of large commercial and consumer engineering projects at high profile facilities such as hotels, airports, hospitals and railways. It currently employs 80 people with an annual turnover of €150,000,000.

SAMPOL specified nine C2000 D6 generator sets with QSK60 engines to provide a total of 18 MW standby power to the entire Santo Domingo Metro system.

The power system was chosen for its ability to handle a heavy duty load whilst taking into consideration operational noise levels.

[www.cumminspower.com](http://www.cumminspower.com)

#### Power output 50 Hz

Model	kVA		kW		Engine		Alternator	Dimensions (L x W x H) mm	Open Set		Tank (L)
	Standby*	Prime*	Standby*	Prime*	Type	Cyl Arr			Wet Weight* (kg)		
C80 DS	80	72	64	58	4BTA3.9G3	4L	UC224F	1920 x 1050 x 1438	1168	200	
C90 DS	90	80	72	64	4BTA3.9G4	4L	UC224G	1920 x 1050 x 1438	1213	200	
C100 DS	100	90	80	72	4BTA3.9G4	4L	UC274C	1920 x 1050 x 1438	1238	200	
C110 DS8	110	100	88	80	6BTA5.9G1-I	6L	UC274C	2220 x 1050 x 1577	1337	320	
C125 DS	125	113	100	90	6BTA5.9G2-I	6L	UC274V	2220 x 1050 x 1577	1423	320	
C150 DS	150	136	120	109	6BTA5.9G2	6L	UC274E	2220 x 1050 x 1577	1423	320	
C175 DS6	175	158	140	126	QSB7G5	6L	UC274F	2656 x 1100 x 1653	2128	530	
C200 DS6	200	182	160	146	QSB7G5	6L	UC274H	2656 x 1100 x 1653	2226	530	
C220 DS6	220	200	176	160	QSB7G5	6L	UC274H	2656 x 1100 x 1653	2226	530	
C250 DS8	250	227	200	182	GCTAA8.3G4	6L	UC274J	3000 x 1050 x 1728	2400	550	
C275 DS8	275	250	220	200	GCTAA8.3G4	6L	UC274K	3000 x 1050 x 1728	2400	550	
C275 DS	275	250	220	200	QSL9G5	6L	UC274K	3125 x 1100 x 1828	2171	600	
C300 DS	300	275	240	220	QSL9G5	6L	HC4D	3125 x 1100 x 1828	2394	600	
C330 DS	330	300	264	240	QSL9G5	6L	HC4D	3125 x 1100 x 1828	2394	600	
C350 DS	350	315	280	252	NT855G6	6L	HC4E	3400 x 1257 x 2133	3709	800	
C400 DS	390	350	312	280	NTA855G4	6L	HC4F	3400 x 1257 x 2133	3844	800	
C440 DS	440	400	352	320	NTA855G7	6L	HC5C	3400 x 1150 x 2253	4002	800	
C500 DS6	500	450	400	360	QSK15G8	6L	HC5C	3403 x 1500 x 2059	4073	900	
C550 DS6	550	500	440	400	QSK15G8	6L	HC5D	3403 x 1500 x 2059	4203	900	
C575 DS8	576	511	461	409	KTA19G4	6L	HC5E	3510 x 1246 x 1906	4373	-	



## Condensers for seawater applications

Two series of shell-and-tube condensers have been optimized for HFC condensation in order to provide the best reliability and efficiency when seawater is used as the cooling medium.

As the use of seawater can cause chemical corrosion, galvanic corrosion and erosion, both series are made of high-resistance materials. The design ensures easy inspection and cleaning of the condensers and assures that the water velocity is kept within the safety limits.

All units are provided with interchangeable anodes made of soft iron. The carbon steel components are sandblasted to

protect against rusting, including the internal wall of the shell.

The two series are optimized especially for R407 and R404 refrigerant, however they offer flexibility in use of other refrigerants as well.

### **McDEW series**

#### **– optimized for R407c refrigerant**

McDEW models have enhanced, internally lined Cu/Ni 90/10 tubes, but

alternative versions with Cu/Ni 70/30 tubes are also available on request.

### **CXPM series**

#### **– optimized for R404 refrigerants**

CXPM models have enhanced, internally lined Cu/Ni 90/10 tubes.



Model COP		111-XS-2P	112-XS-2P	113-XS-2P	142-XS-2P	143-XS-2P	144-XS-2P	142-S-2P	143-S-2P	144-S-2P	161-S-2P	162-S-2P	163-S-2P	161-M-1P	162-M-1P	163-M-1P
R404A refrigerant	Qn (KW)*	19	25	32	42	52	60	67	75	85	105	115	125	166	185	205
Tc, mean =40°C	Wm(m³/h)	3,7	4,4	5,4	7	9,2	10,5	10,5	12	14,5	17	19	21,5	28,6	32	35
Ti=30°C ΔT=5K*	Wm(m³/h)	4,45	6,7	8,9	11	13,2	15,5	11,2	13,4	15,7	17,9	20,1	22,4	35,7	40	44,8
FF=0.000043 m²/KW	Dpn(bar)	0,24	0,16	0,15	0,14	0,17	0,17	0,38	0,36	0,39	0,4	0,4	0,41	0,21	0,22	0,23

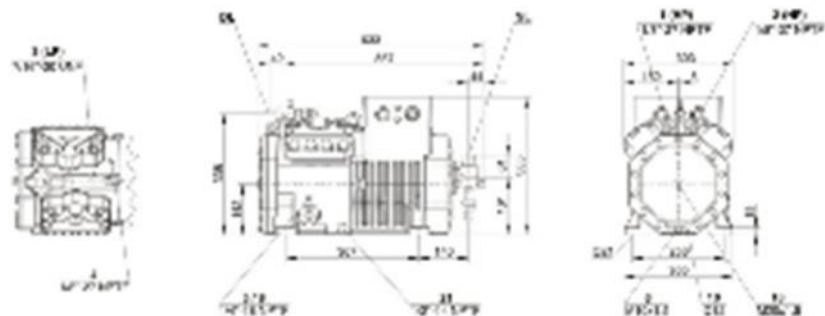
Model COP		111-XS-4P	112-XS-4P	113-XS-4P	142-XS-4P	143-XS-4P	144-XS-4P	142-S-2P	143-S-2P	144-S-2P	161-S-4P	162-S-4P	163-S-4P
R404A refrigerant	Qn (KW)*	24	35	45	55	70	80	90	100	120	130	140	150
Tc, mean =35°C	Wm (m³/h)	1,5	2,15	2,7	3,3	4,3	4,9	5,6	6,3	7,5	7	7,5	8
Ti=15°C ΔT=15K*	Wm (m³/h)	2,2	3,3	4,4	5,5	6,7	7,8	11	13,4	15,7	8,9	10	11
FF=0.000043 m²/KW	Dpn (bar)	0,35	0,33	0,32	0,27	0,32	0,3	0,13	0,12	0,11	0,55	0,51	0,5

Model COEW		60	80	100	120	135	165	190	215	240	260	300	360	400	450	470	520	550	610	680	700	840
Cooling tower water (2 passes)																						
R407C refrigerant	Qn (kW)	57	75	100	118	135	165	190	215	233	260	300	360	400	450	470	520	550	610	680	700	840
Tc, mean = 42°C	Wm (m³/h)	9.5	12.7	17.5	20.6	20.2	25.5	27.7	30.7	33.6	37.0	44.0	53.3	59.2	62.9	68.4	75.8	83.4	90.8	99.9	110.5	121.7
Ti = 29.4°C	Wm (m³/h)	10.2	13.6	18.7	22.1	23	19.8	32.4	35.8	35.8	42.5	51	61.4	68.3	72.5	78.5	87	95	102	112	126	140
FF = 0.000043 m²/KW	Dpn (bar)	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
City water (4 passes)																						
R407C refrigerant	Qn (kW)	55	74	99	118	133	165	185	205	230	255	300	365	415	445	467	520	581	613	680	755	850
Tc, mean = 35°C	Wm (m³/h)	3.4	4.5	6.1	7.2	7.5	9.3	10.2	11.3	12.1	14	16.8	20	22.1	23.8	25.6	28	31.5	33.8	37.1	41.6	46.2
Ti = 15°C	Wm (m³/h)	4.5	6	8.2	9.7	10.1	13.1	14.2	15.7	15.7	18.7	22.5	27	30	31.7	34.5	38	42	45	49.5	55.2	61.2
FF = 0.000043 m²/KW	Dpn (bar)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.38	0.38	0.38	0.38	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.43	0.43	0.43	0.43

Mode COEW		900	940	1040	1100	1220	1300	1520	1680
Cooling tower water (2 passes)									
R407C refrigerant	Qn (kW)*	940	990	1070	1180	1280	1400	1560	1750
Tc, mean =42°C	Wm(m3/h)	130	140	151	165	180	195	224	252
Ti=29.4°C	Wm(m3/h)	146	156	174	190	204	225	252	280
FF=0.000043m2KW	Dpn(bar)	0,41	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,45
Cooling city water (4 passes)									
R407C refrigerant	Qn (kW)*	900	945	1040	1100	1220	1360	1520	1680
Tc, mean =42°C	Wm(m3/h)	49	51	56	60	66	74	85	91
Ti=15°C	Wm(m3/h)	64,5	69	76	84,2	90	99	111	123
FF=0.000043m2KW	Dpn(bar)	0,45	0,44	0,44	0,42	0,44	0,45	0,5	0,5

## Technical Data: 4VES-10Y

### Dimensions and Connections



### Technical Data

### Technical Data

Displacement (1450 RPM 50Hz)	34,73 m3/h
Displacement (1750 RPM 60Hz)	41,92 m3/h
No. of cylinder x bore x stroke	4 x 55 mm x 42 mm
Weight	130 kg
Max. pressure (LP/HP)	19 / 32 bar
Connection suction line	28 mm - 1 1/8"
Connection discharge line	22 mm - 7/8"
Oil type R134a/R407C/R404A/R507A/R407A/R407F	BSE32(Standard) / R134a t<=70°C: BSE55 (Option)
Oil type R22 (R12/R502)	BSE2 (Option)

### Market data

Motor version	1
Motor voltage (more on request)	380-420V PW-3-50Hz
Max operating current	19.9 A
Winding ratio	50/50
Starting current (Rotor locked)	59.0 A Y / 99.0 A YY
Max. Power input	12.0 kW

## Extent of delivery (Standard)

Motor protection	SE-B1
Enclosure class	IP65
Vibration dampers	Standard
Oil charge	2.60 dm <sup>3</sup>

### Available Options

Discharge gas temperature sensor	Option
Start unloading	Option
Capacity control	100-50% (Option)
Capacity Control - infinite	100-10% (Option)
Additional fan	Option
Oil service valve	Option
Crankcase heater	0...140 W PTC (Option)
Oil level monitoring	OLC-K1 (Option)

### Sound measurement

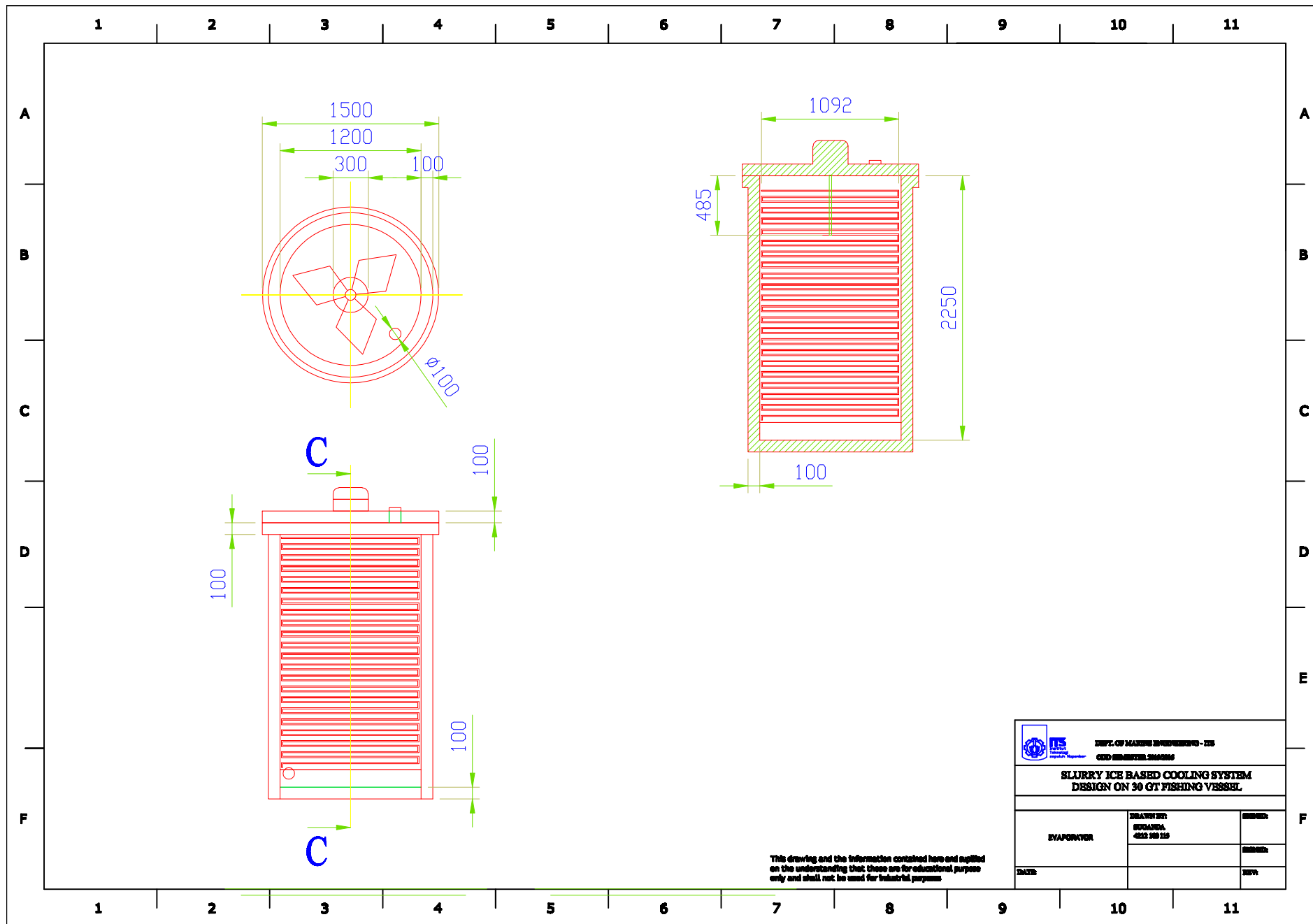
Sound power level (+5°C / 50°C)	71.0 dB(A) @50Hz
Sound power level (-10°C / 45°C)	72.3 dB(A) @50Hz
Sound power level (-35°C / 40°C)	77.4 dB(A) @50Hz
Sound pressure level @ 1m (+5°C / 50°C)	63 dB(A) @50Hz
Sound pressure level @ 1m (-10°C / 45°C)	64.3 dB(A) @50Hz
Sound pressure level @ 1m (-35°C / 40°C)	69.4 dB(A) @50Hz
Sound power level (+5°C / 50°C) R134a	69.0 dB(A) @50Hz
Sound power level (-10°C / 45°C) R134a	70.3 dB(A) @50Hz
Sound pressure level @ 1m (+5°C / 50°C) R134a	61 dB(A) @50Hz
Sound pressure level @ 1m (-10°C / 45°C) R134a	62.3 dB(A) @50Hz



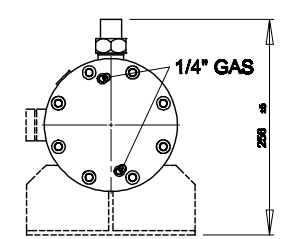
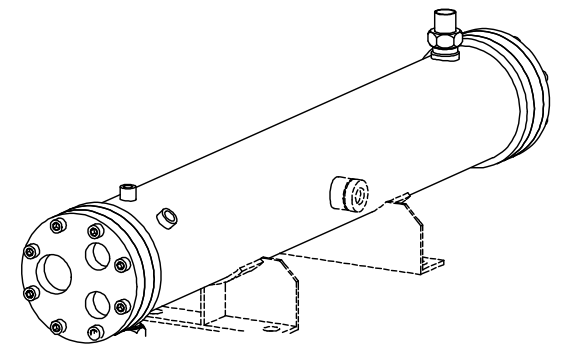
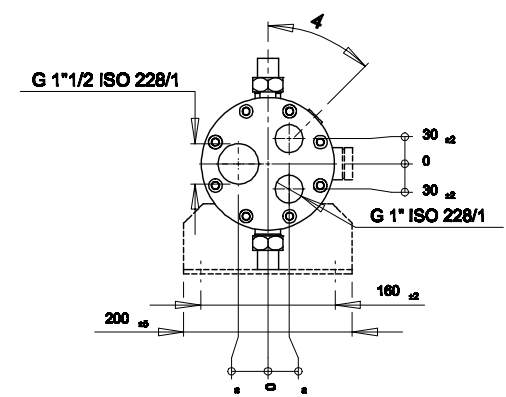
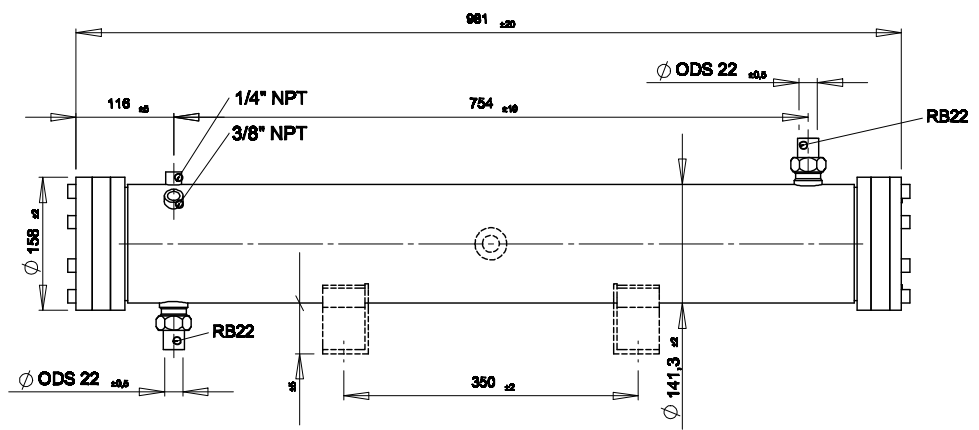


**Pump Specification(50Hz/380V/3phase, 2900rpm, 2 poles motor)**


NO.	Model	Capacity (m³/h)	Capacity Range (m³/h)	Head (m)	Head range (m)	Shaft power (kw)	HP/PH	Power (kw)	Motor model	Wt (kg)
1	40CLZ-2	5	3.5 - 6.5	60	48 - 65	3.9	4	5.5	Y132S1-2H	172
2	40CLZ-2A	4	3 - 5.5	54	45 - 58	3.2	4	5.5	Y132S1-2H	172
3	50CLZ-4.5	12.5	9.5 - 14.5	32	27 - 35	2.5	4	3	Y100L-2H	155
4	50CLZ-4.5A	10	7.5 - 12	28	23 - 30	1.8	4	2.2	Y90L-2H	155
5	50CLZ-15	20	15 - 23	32	27 - 34	3.1	4	4	Y112M-2H	169
6	50CLZ-15A	17	12 - 20	28	23 - 30	2.4	4	3	Y100L-2H	168
7	50CLZ-9	27	20 - 30	14.5	12 - 15	1.4	4	2.2	Y90L-2H	154
8	50CLZ-9A	21	15 - 23	12	10 - 13	0.9	4	1.5	Y90S-2H	153
9	50CLZ-7	12.5	9 - 13	20	17 - 21	1.4	4	2.2	Y90L-2H	146
10	50CLZ-7A	10	7 - 11	17	14 - 18	1.1	4	1.5	Y90S-2H	145
11	50CLZ-3	12.5	9 - 13	50	42 - 52	4.9	4	5.5	Y132S	195
12	50CLZ-3A	10	7 - 11	45	38 - 48	3.2	4	4	Y112M-2H	193
13	50CLZ-4	20	15 - 22	50	42 - 52	6.1	4	7.5	Y132S2-2H	152
14	50CLZ-4A	17	12 - 19	46	39 - 49	5.0	4	5.5	Y132S1-2H	151
15	65CLZ-9	25	18 - 28	20	17 - 21	2.3	4	3	Y100L-2H	153
16	65CLZ-9A	21	15 - 23	17	14 - 18	1.6	4	2.2	Y90L-2H	152
17	65CLZ-6	25	18 - 28	32	27 - 34	4.2	4	5.5	Y132S1-2H	190
18	65CLZ-6A	21	15 - 23	28	23 - 30	3.1	4	4	Y112M-2H	188
19	65CLZ-5	25	18 - 28	45	38 - 48	6.7	4	7.5	Y132S2-2H	200
20	65CLZ-5A	30	22 - 34	35	29 - 37	6.0	4	7.5	Y132S2-2H	198
21	65CLZ-4.5	25	18 - 28	60	51 - 62	9.5	4	11	Y160M1-2H	225
22	65CLZ-4.5A	22	16 - 24	54	45 - 56	8.2	4	11	Y160M1-2H	253
23	65CLZ-3	25	18 - 28	80	68 - 83	7.1	4.2	8.5	Y160L-2H	240
24	65CLZ-3A	22	16 - 25	75	63 - 78	6.5	4.2	7.5	Y160M2-2H	238



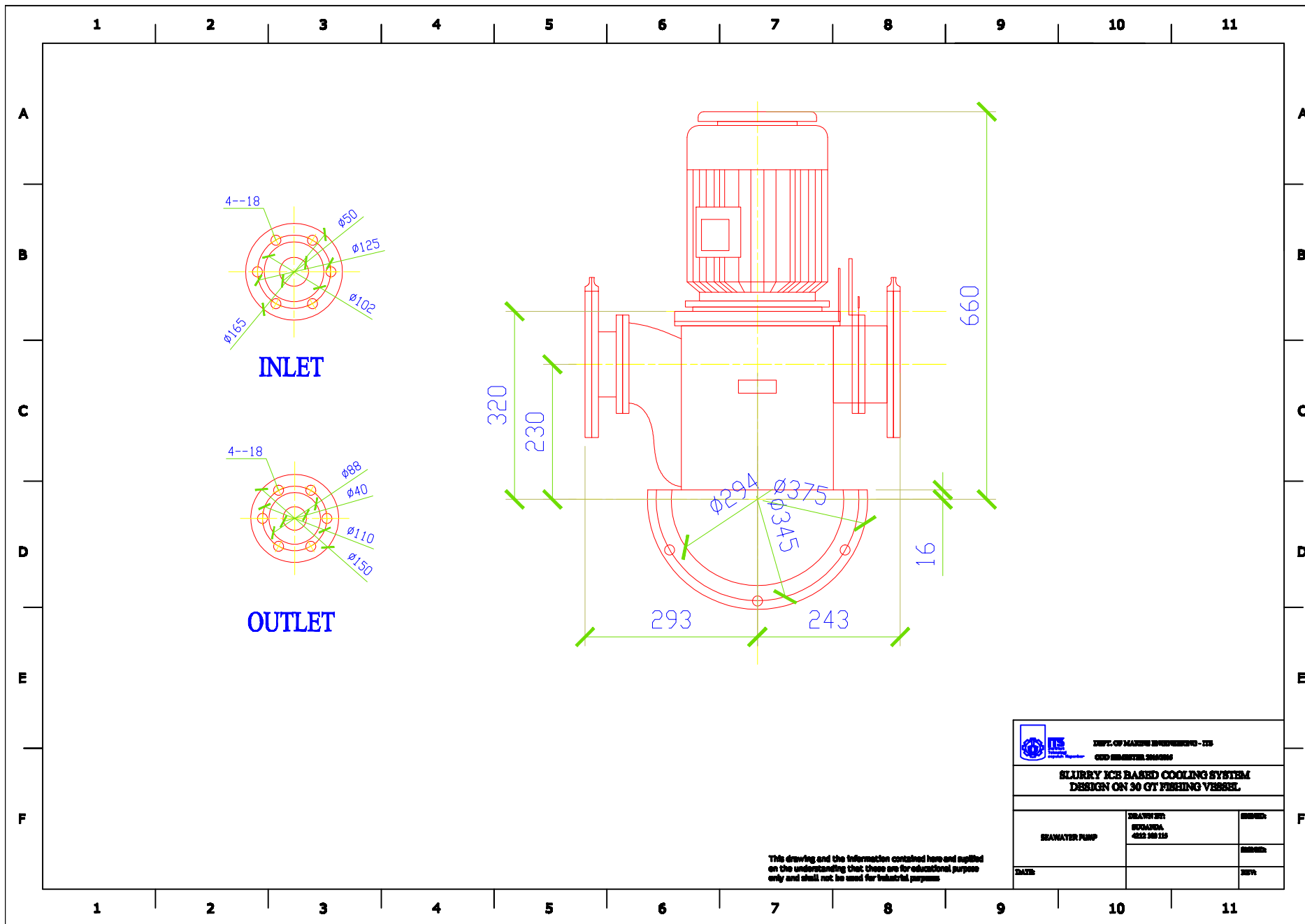




This drawing and the information contained here and appertaining to it are for educational purposes only and shall not be used for industrial purposes

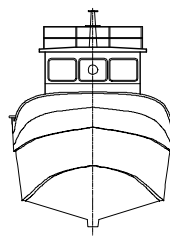
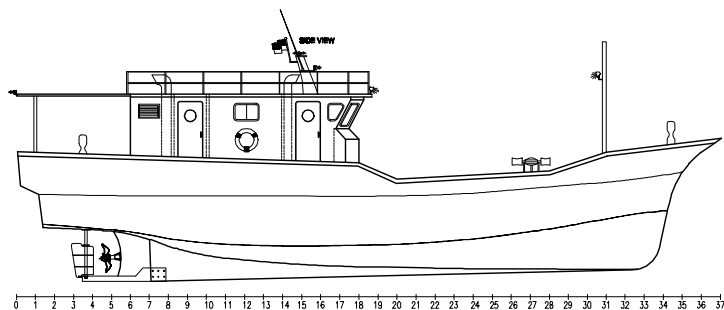
 DEPT. OF MARINE ENGINEERING - TTE CDD BANGKOK MARINE		
<b>SLURRY ICE BASED COOLING SYSTEM  DESIGN ON 30 GT FISHING VESSEL</b>		
CONDENSER	DESIGNED BY: SUWANDA 4822 185 115	DRAWN BY:
		CHECKED BY:
DATE:		REV:





1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

A

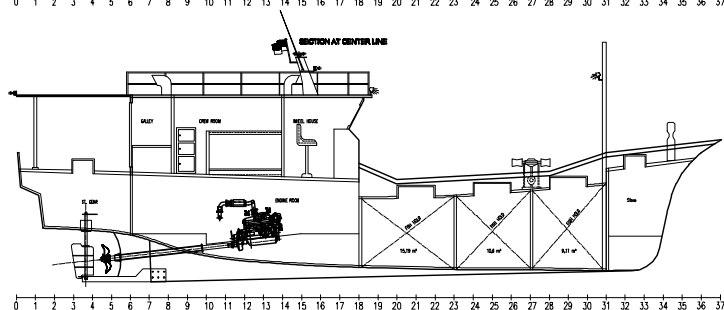


B

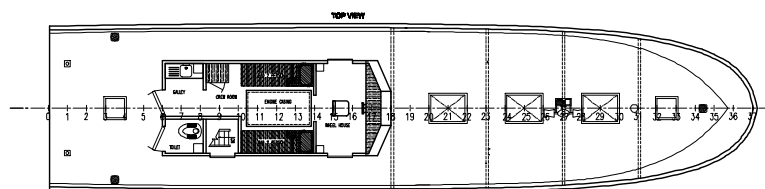
A

B

C



D

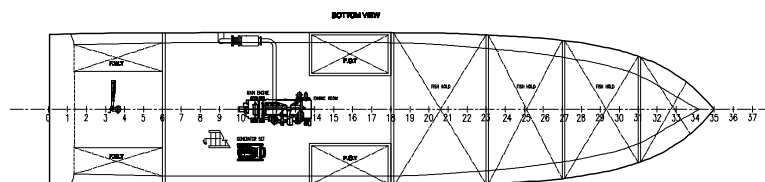


E


D

E

F

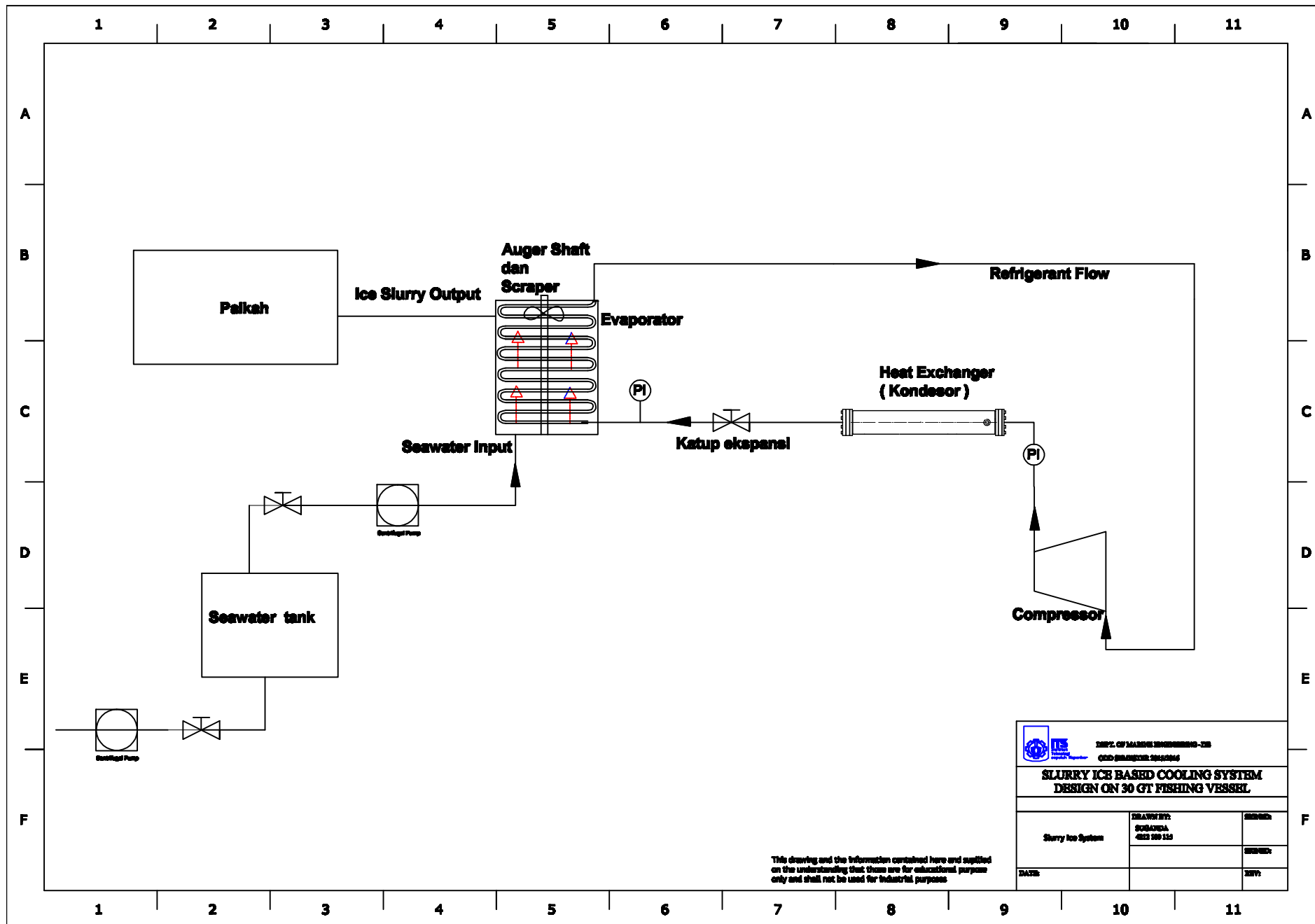


PRINCIPAL DIMENSION	
TYPE	FISHING VESSEL
Lwl	18.5 m
Lpp	17.3 m
B	4.2 m
H	2.9 m
T	1.2 m
Vs	10 Knot


 <b>DEPT. OF MARINE ENGINEERING - TTB</b> GEDD HEMMETT SHARAH		
<b>SLURRY ICE BASED COOLING SYSTEM</b> <b>DESIGN ON 30 GT FISHING VESSEL</b>		
Slurry Ice System design on fishing vessel 30 GT	DRAWN BY: SUZANA 422 183 115	CHECKED BY:  
		APPROVED BY:  
	DATE:	REV:

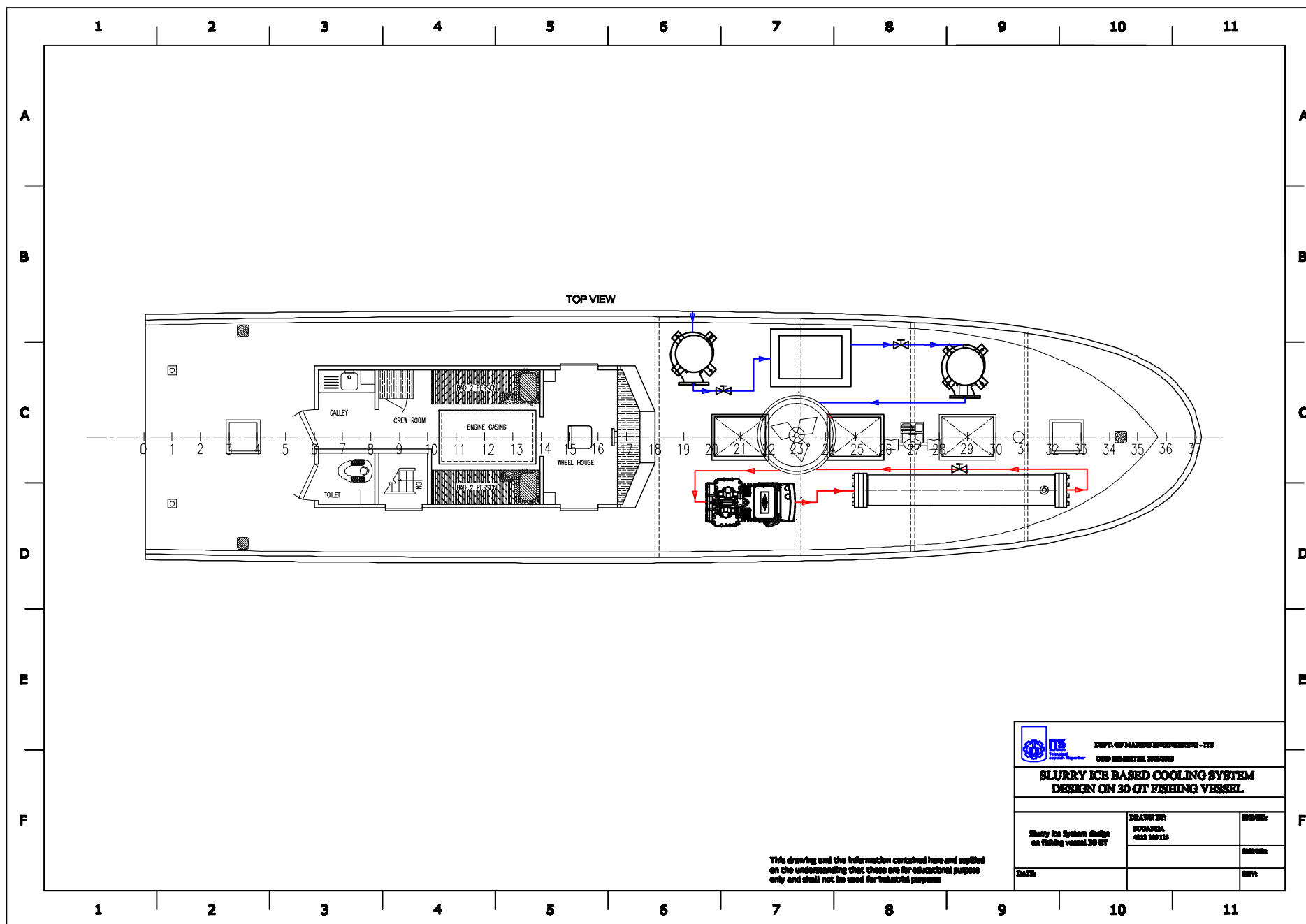
This drawing and the information contained here and supplied on the understanding that these are for educational purpose only and shall not be used for industrial purposes

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11




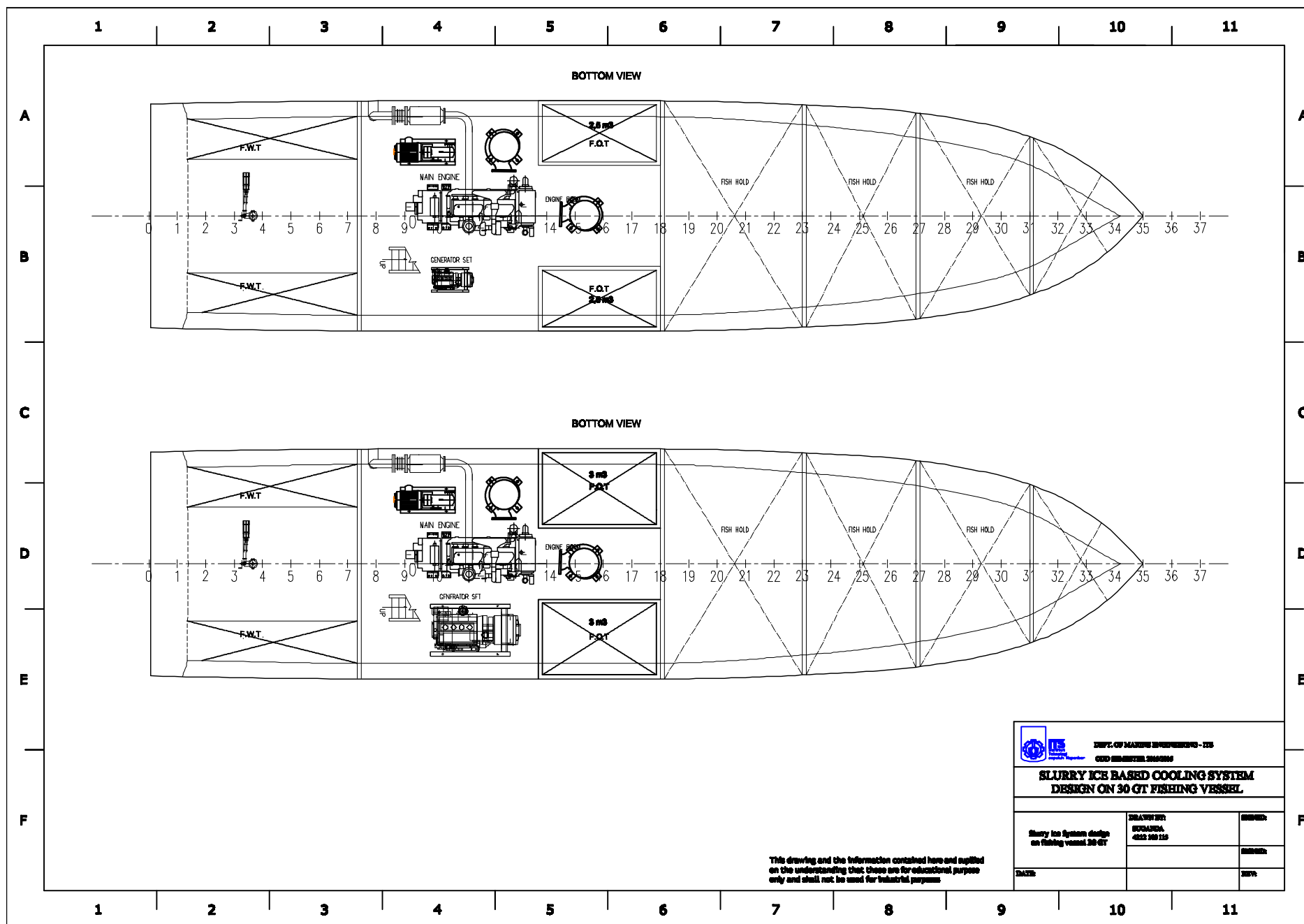
This drawing and the information contained here and supplied on the understanding that these are for educational purpose only and shall not be used for industrial purposes


 DEPT. OF MARINE ENGINEERING - 1st YEAR (SEMESTER 1st/2nd)		
<b>SLURRY ICE BASED COOLING SYSTEM          DESIGN ON 30 GT FISHING VESSEL</b>		
Slurry Ice System	DRAWN BY: SUBANEA 4023 100 114	CHECKED:  
		DATE:



This drawing and the information contained here and explicated on the understanding that these are for educational purpose only and shall not be used for industrial purposes

 DEPT. OF MARINE ENGINEERING - TTE CDD HONGKONG SAR		
<b>SLURRY ICE BASED COOLING SYSTEM</b> <b>DESIGN ON 30 GT FISHING VESSEL</b>		
Slurry Ice System design on Fishing vessel 30 GT	DRAWN BY: SUKANDA 4822 183 115	CHECKED:  
	DATE:	REV:



 <b>MINISTRY OF MARINE ENGINEERING - TTB</b> GEOGRAPHICAL SHIPING		
<b>SLURRY ICE BASED COOLING SYSTEM DESIGN ON 30 GT FISHING VESSEL</b>		
Slurry Ice System design on fishing vessel 30 GT	DESIGNER: BUDARDA 4822 180 115	DRAWN:  CHECKED:  DATE:

This drawing and the information contained here and appertaining to it are for educational purposes only and shall not be used for industrial purposes

## **BIODATA PENULIS**



Penulis dilahirkan di Labuhan Batu, Sumatera Utara, pada tanggal 23 Juni 1994. Penulis merupakan anak ketiga dari lima bersaudara. Terlahir dengan nama Suganda Aruan dan nama baptis Fransiskus. Penulis adalah anak dari pasangan Nelson Aruan dan Tiaman Situmorang. Riwayat pendidikan formal yang telah ditempuh adalah TK Strada Kampung Sawah (1999-2000), SD Strada Kampung Sawah (2000-2001), SDN 01 Pagi Jakarta Timur (2001-2004), SDN Aruan (2004-2006), SMPN 1 Laguboti (2009-2012), SMAN 2 Balige (2009-2012). Setelah lulus dari SMA tahun 2012, penulis melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi. Diterima di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan – Fakultas Teknologi Kelautan – Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya jenjang Strata I (S1). Penulis mengambil konsentrasi bidang keahlian Marine Machinery and System (MMS). Selama perkuliahan, penulis aktif pada kegiatan yang sifatnya akademis dan non akademis. Penulis aktif di organisasi MBP ITS (Mahasiswa Bona Pasogit ITS) sebagai Staff Bidang Minat Bakat (2014-2015) dan Wakil Sekertaris Cabang Gerakan Mahasiswa Kristen Indonesia Cabang Surabaya (2015-2016). Penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT ASL Shipyard Indonesia di Batam dan PT Bureau Veritas Indonesia cabang Batam.

### **Suganda**

Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
FTK ITS [Suganda12@mhs.ne.its.ac.id](mailto:Suganda12@mhs.ne.its.ac.id)



